



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS  
LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE  
LA EPMAPA-SUCÚA, UBICADA EN EL SECTOR “EL TOPO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** DIANA CRISTINA MACERA VEINTIMILLA  
**TUTORA:** ING. TERESITA JACKELIN MEJÍA REINOSO

Macas - Ecuador

2017

**©2017, Diana Cristina Macera Veintimilla**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal de Tesis certifica que: El Trabajo de Titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA EPMAPA-SUCÚA, UBICADA EN EL SECTOR “EL TOPO”, de responsabilidad de la señorita Diana Cristina Macera Veintimilla, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Teresita Mejía

**DIRECTORA DEL TRABAJO**

**DE TITULACIÓN**

-----

-----

Dr. Gerardo León

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

-----

-----

Yo, Diana Cristina Macera Veintimilla soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Diana Cristina Macera Veintimilla

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Diana Cristina Macera Veintimilla declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas, 13 de noviembre de 2017

Diana Cristina Macera Veintimilla  
140050706-5

## **DEDICATORIA**

Una meta de la muchas que me he propuesto alcanzar en la vida ha sido cumplida y va dedicada primeramente a mi Dios por su fidelidad durante todo este proceso; a mi hija Polette, quien le dio un nuevo sentido a mi existencia y fue mi motivación para salir adelante y culminar con éxito el presente trabajo de titulación. A mi madre Mersi, por su amor incondicional, entrega y apoyo total durante este proceso y a mi padre Galo, que en paz descansa, por hacer de mí una mujer fuerte y perseverante.

Diana Cristina

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por confiar en mí y apoyarme en el cumplimiento de esta meta personal, sus consejos me ayudaron a vencer los obstáculos presentados en mi vida.

Expreso mi más sincero agradecimiento, al Gerente de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Sucúa EPMAPA-S, el Ing. Rommel Trujillo por permitir desarrollar mi trabajo de titulación en la institución que lidera, al igual que a su equipo de trabajo, quienes con su experiencia supieron brindarme asesoría.

Además, quiero agradecer a la Ing. Teresita Mejía y Dr. Gerardo León, directora de tesis y miembro de tribunal, por haber compartido su valioso conocimiento, tiempo y paciencia al desarrollo de mi trabajo de titulación.

En fin, gracias a todas y cada una de las personas que influyeron en esta etapa de mi vida y me impulsaron a ser profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
SUMMARY .....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Potabilización del Agua .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Plantas de tratamiento de agua.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Procesos de tratamiento para la potabilización del agua .....</b>	<b>5</b>
1.2.1.1. Pre tratamiento.....	6
1.2.1.2. Mezcla Rápida .....	6
1.2.1.3. Coagulación-Floculación.....	6
1.2.1.4. Sedimentación.....	7
1.2.1.5. Filtración .....	7
1.2.1.6. Desinfección .....	8
<b>1.2.2. Tipos de plantas potabilizadoras .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.3. Tipos de residuos generados .....</b>	<b>9</b>
1.2.3.1. Plantas de clarificación.....	9
1.2.3.2. Plantas de ablandamiento .....	10
1.2.3.3. Plantas desferrizadoras.....	10
<b>1.3. Lodos provenientes del tratamiento de agua potable .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.1. Tipos y cantidad de lodos generados .....</b>	<b>11</b>
1.3.1.1. Plantas de clarificación.....	11
1.3.1.2. Plantas de ablandamiento .....	14
1.3.1.3. Plantas desferrizadoras.....	15
<b>1.3.2. Volumen de lodos generados .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.3. Características de los lodos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. Tecnologías de tratamiento de lodos.....</b>	<b>17</b>



<b>1.4.1.</b>	<b><i>Espesado de lodos</i></b> .....	17
1.4.1.1.	<i>Tanques espesadores</i> .....	17
1.4.1.2.	<i>Lagunas de espesamiento</i> .....	19
<b>1.4.2.</b>	<b><i>Acondicionamiento de lodos</i></b> .....	20
1.4.2.1.	<i>Resistencia específica</i> .....	20
1.4.2.2.	<i>Tiempo de succión capilar</i> .....	20
<b>1.4.3.</b>	<b><i>Deshidratación de lodos</i></b> .....	21
1.4.3.1.	<i>Métodos naturales</i> .....	21
1.4.3.2.	<i>Métodos mecánicos</i> .....	21
<b>1.4.4.</b>	<b><i>Disposición final del lodo</i></b> .....	22
<b>1.5.</b>	<b><i>Base legal</i></b> .....	23

## **CAPÍTULO II**

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.</b>	<b>Localización del estudio</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.</b>	<b>Lugar de muestreo</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Muestreo de Agua Cruda</i></b> .....	<b>26</b>
2.2.1.1.	<i>Punto de muestreo</i> .....	26
2.2.1.2.	<i>Materiales</i> .....	27
2.2.1.3.	<i>Procedimiento</i> .....	27
<b>2.2.2.</b>	<b><i>Muestreo de lodos de sedimentadores</i></b> .....	<b>27</b>
2.2.2.1.	<i>Punto de muestreo</i> .....	28
2.2.2.2.	<i>Materiales</i> .....	28
2.2.2.3.	<i>Procedimiento</i> .....	28
<b>2.2.3.</b>	<b><i>Muestreo de lodos de filtros</i></b> .....	<b>29</b>
2.2.3.1.	<i>Punto de muestreo</i> .....	29
2.2.3.2.	<i>Materiales</i> .....	29
2.2.3.3.	<i>Procedimiento</i> .....	30
<b>2.3.</b>	<b>Cuantificación de lodos</b> .....	<b>30</b>

2.3.1.	<i>Lodos de sedimentadores</i> .....	30
2.3.2.	<i>Lodos de filtros</i> .....	31
2.4.	<b>Caracterización de los lodos</b> .....	31
2.4.1.	<i>Técnicas para la caracterización de los lodos</i> .....	31
2.4.2.	<i>Purgas del sedimentador</i> .....	31
2.4.3.	<i>Lavado de filtros</i> .....	32
2.5.	<b>Procesos de tratabilidad</b> .....	32
2.5.1.	<i>Prueba de sedimentación</i> .....	32
2.5.1.1.	<i>Materiales</i> .....	32
2.5.1.2.	<i>Reactivos</i> .....	32
2.5.1.3.	<i>Procedimiento</i> .....	32
2.5.2.	<i>Secado de lodos</i> .....	33
2.5.2.1.	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i> .....	33
2.5.2.2.	<i>Determinación del porcentaje de sólidos</i> .....	34
2.6.	<b>Diseño del sistema para el tratamiento de los lodos</b> .....	35
2.6.1.	<i>Tanque Homogenizador</i> .....	35
2.6.1.1.	<i>Dimensionamiento</i> .....	35
2.6.2.	<i>Espesador de lodos por gravedad</i> .....	36
2.6.2.1.	<i>Criterios de diseño</i> .....	36
2.6.2.2.	<i>Dimensionamiento</i> .....	36
2.6.3.	<i>Era de secado</i> .....	41
2.6.3.1.	<i>Criterios de diseño</i> .....	42
2.6.3.2.	<i>Dimensionamiento</i> .....	42

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	46
3.1.	<b>Localización del estudio</b> .....	46
3.2.	<b>Lugar de muestreo</b> .....	46
3.2.1.	<i>Muestreo de Agua Cruda</i> .....	48

3.2.2.	<i>Muestreo de lodos de sedimentadores</i>	49
3.2.3.	<i>Muestreo de lodos de filtros</i>	50
3.3.	<b>Cuantificación de lodos</b>	51
3.3.1.	<i>Lodos de sedimentadores</i>	51
3.3.2.	<i>Lodos de filtros</i>	52
3.4.	<b>Caracterización de los lodos</b>	53
3.4.1.	<i>Purgas del sedimentador</i>	53
3.4.2.	<i>Lavado de filtros</i>	55
3.5.	<b>Procesos de tratabilidad</b>	57
3.5.1.	<i>Prueba de sedimentación</i>	57
3.5.2.	<i>Determinación del porcentaje de humedad</i>	59
3.5.3.	<i>Determinación del porcentaje de sólidos</i>	60
3.6.	<b>Propuesta de tratamiento</b>	62
3.6.1.	<i>Diagrama de flujo del proceso</i>	62
3.6.2.	<i>Diseño del proceso de tratamiento de lodos</i>	63
3.6.3.	<i>Datos de diseño</i>	63
3.6.4.	<b>Cálculos</b>	63
3.6.4.1.	<i>Tanque Homogenizador</i>	63
3.6.4.2.	<i>Espesador de lodos por gravedad</i>	64
3.6.4.3.	<i>Lechos de secado</i>	71
3.6.5.	<b>Resumen de dimensiones</b>	74
3.6.5.1.	<i>Tanque homogenizador</i>	74
3.6.5.2.	<i>Espesador de lodos por gravedad</i>	75
3.6.5.3.	<i>Lechos de secado</i>	75
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>76</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1.</b> Valores de $F_{Ca}$ y $F_{Mg}$ .....	14
<b>Tabla 2-2.</b> Técnicas de caracterización de lodos .....	31
<b>Tabla 3-2.</b> Criterios de diseño para el ELG.....	36
<b>Tabla 4-2.</b> Criterios de diseño para EDS.....	42
<b>Tabla 1-3.</b> Análisis físico-químico y microbiológico de agua cruda.....	48
<b>Tabla 2-3.</b> Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del sedimentador .	49
<b>Tabla 3-3.</b> Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del filtro.....	50
<b>Tabla 4-3.</b> Caudal promedio de purga del sedimentador.....	52
<b>Tabla 5-3.</b> Caudal y volumen de lodo descargado por los sedimentadores.....	52
<b>Tabla 6-3.</b> Pruebas de velocidad de descenso para filtros .....	53
<b>Tabla 7-3.</b> Caudal promedio de lavado de filtros .....	53
<b>Tabla 8-3.</b> Caudal y volumen de lodo descargado por los filtros .....	53
<b>Tabla 9-3.</b> Caracterización de lodos de los sedimentadores.....	54
<b>Tabla 10-3.</b> Caracterización del lavado de filtros.....	55
<b>Tabla 11-3.</b> Prueba de sedimentación N°1 .....	57
<b>Tabla 12-3.</b> Prueba de sedimentación N°2 .....	58
<b>Tabla 13-3.</b> Resultados de la determinación del porcentaje de humedad.....	59
<b>Tabla 14-3.</b> Resultados de la determinación del porcentaje de sólidos .....	60
<b>Tabla 15-3.</b> Volumen de lodo a tratar .....	63
<b>Tabla 16-4.</b> Dimensiones del tanque homogenizador .....	74
<b>Tabla 17-4.</b> Dimensiones del espesador de lodos por gravedad.....	75
<b>Tabla 18-4.</b> Dimensiones de los lechos de secado .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Procesos generadores de residuos en plantas de clarificación.....	9
<b>Figura 2-1.</b> Procesos generadores de residuos en plantas de ablandamiento .....	10
<b>Figura 3-1.</b> Zonas de sedimentación para una suspensión floculenta .....	18
<b>Figura 4-1.</b> Curva de sedimentación de lodo.....	19
<b>Figura 1-3.</b> Diagrama de tratamiento de agua potable en la PTAP-Sucúa.....	47
<b>Figura 2-3.</b> Puntos de muestreo.....	48
<b>Figura 3-3.</b> Gráfico de caracterización de lodos del sedimentador N° 4 .....	54
<b>Figura 4-3.</b> Grafico del contenido de humedad y sólidos del sedimentador .....	55
<b>Figura 5-3.</b> Gráfico de caracterización de lodos de los filtros .....	56
<b>Figura 6-3.</b> Curva de sedimentación de lodo N°1 .....	58
<b>Figura 7-3.</b> Curva de sedimentación de lodo N°2 .....	59
<b>Figura 8-3.</b> Gráfico del porcentaje de humedad en las muestras sedimentadas .....	60
<b>Figura 9-3.</b> Gráfico del porcentaje de sólidos de las muestras sedimentadas .....	61
<b>Figura 10-3.</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de lodos.....	62

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-3.</b> Ubicación PTAP de la EPMAPA-Sucúa sector vía a Tambache.....	46
---	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A</b>	Análisis físico-químico y microbiológico de agua cruda
<b>ANEXO B</b>	Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del sedimentador
<b>ANEXO C</b>	Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del filtro
<b>ANEXO D</b>	Pruebas de velocidad de descenso del sedimentador
<b>ANEXO E</b>	Análisis físico-químico y microbiológico del clarificado de la prueba de sedimentación
<b>ANEXO F</b>	Fotografías
<b>ANEXO G</b>	Planos de sistema de tratamiento propuesto

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>(Ecuación 1-1)</b> Producción de lodos en plantas de clarificación utilizando aluminio como coagulante .....	12
<b>(Ecuación 2-1)</b> Producción de lodos en plantas de clarificación utilizando hierro como coagulante .....	12
<b>(Ecuación 3-1)</b> Balance de masa de coagulantes en plantas de clarificación.....	13
<b>(Ecuación 4-1)</b> Producción de lodos en plantas de ablandamiento .....	14
<b>(Ecuación 5-1)</b> Óxidación del manganeso en plantas desferrizadoras .....	15
<b>(Ecuación 6-1)</b> Producción de lodos en plantas desferrizadoras .....	15
<b>(Ecuación 7-1)</b> Resistencia específica de lodo .....	20
<b>(Ecuación 1-2)</b> Determinación del porcentaje de humedad .....	33
<b>(Ecuación 2-1)</b> Determinación del porcentaje de sólidos.....	34
<b>(Ecuación 3-2)</b> Volumen del tanque homogenizador.....	35
<b>(Ecuación 4-2)</b> Dimensiones del tanque homogenizador.....	36
<b>(Ecuación 5-2)</b> Área superficial del espesador de lodos por gravedad .....	37
<b>(Ecuación 6-2)</b> Diámetro del cilindro.....	37
<b>(Ecuación 7-2)</b> Volumen del cilindro.....	38
<b>(Ecuación 8-2)</b> Altura del cilindro .....	38
<b>(Ecuación 9-2)</b> Altura del cono .....	38
<b>(Ecuación 10-2)</b> Altura de la fosa de lodos .....	39
<b>(Ecuación 11-2)</b> Altura total del espesador de lodos por gravedad.....	39
<b>(Ecuación 12-2)</b> Diámetro de la fosa de lodos .....	39
<b>(Ecuación 13-2)</b> Radio del cono.....	40
<b>(Ecuación 14-2)</b> Área del cono.....	40
<b>(Ecuación 15-2)</b> Longitud de rasqueta unitaria .....	40
<b>(Ecuación 16-2)</b> Longitud de rasqueta total .....	41
<b>(Ecuación 17-2)</b> Base de rasqueta unitaria.....	41
<b>(Ecuación 18-2)</b> Volumen de lodo a secar .....	43
<b>(Ecuación 19-2)</b> Área superficial de la era de secado .....	43
<b>(Ecuación 20-2)</b> Longitud de la era.....	43
<b>(Ecuación 21-2)</b> Altura de inclinación en longitud .....	44
<b>(Ecuación 22-2)</b> Altura de inclinación en amplitud .....	44
<b>(Ecuación 23-2)</b> Altura total de la era .....	45



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Productos químicos adicionales (polímeros)
Ac	Área del cono
Al	Aluminio
As <sub>1</sub>	Área superficial del espesador de lodos por gravedad
As <sub>2</sub>	Área superficial de la era de secado
B	Ancho de la era de secado
B <sub>RU</sub>	Base de rasqueta unitaria
CESTTA	Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental
C <sub>mac</sub>	Concentración del metal en el agua cruda
C <sub>mc</sub>	Concentración del metal en el coagulante
C <sub>ml</sub>	Concentración de metal en el lodo
C <sub>mr</sub>	Concentración del metal en el agua de retrolavado
C <sub>mat</sub>	Concentración del metal en el agua tratada
C <sub>ss1</sub>	Carga de sólidos del espesador de lodos por gravedad
C <sub>ss2</sub>	Carga de sólidos de las eras de secado
D	Diámetro del cilindro
D <sub>f</sub>	Diámetro de la fosa de lodos
d	Día
EDS	Era de secado
EPMAPA-Sucúa	Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Sucúa
ELG	Espesador de lodos por gravedad
Fe	Hierro
H <sub>s</sub>	Altura de seguridad del espesador de lodos por gravedad
H <sub>t</sub>	Altura total del espesador de lodos por gravedad
H <sub>1</sub>	Altura del cilindro
H <sub>2</sub>	Altura del cono
H <sub>3</sub>	Altura de la fosa de lodos
hs	Altura de seguridad de las eras de secado
ht	Altura total de las eras de secado
h <sub>1</sub>	Altura de lodo

$h_2$	Altura de inclinación en longitud
$h_3$	Altura de arena
$h_4$	Altura de grava fina
$h_5$	Altura de grava gruesa
$h_6$	Altura de piedra
$h_7$	Altura de inclinación en amplitud
$\text{Kg/m}^3$	Kilogramos sobre metro cúbico
$\text{Kg/m}^2\text{d}$	Kilogramos sobre metros cuadrados por día
$L$	Longitud del tanque homogenizador
$L_2$	Longitud de la era de secado
$L_{RU}$	Longitud de rasqueta unitaria
$L_{TR}$	Longitud de rasqueta total
$\text{mL}$	Mililitros
$\text{Mn}$	Manganeso
$\text{Ms}$	Flujo másico de sólidos de lodos
$\text{mg/L}$	Miligramos sobre litro
$\text{m}$	Metros
$\text{m}^2$	Metros cuadrados
$\text{m}^3$	Metros cúbicos
$\text{m}^3/\text{d}$	Metros cúbicos sobre día
$\text{m}^3/\text{s}$	Metros cúbicos sobre segundo
$N^\circ$	Número de eras
$N_r$	Número de rasquetas
$\text{PTAP}$	Planta de Tratamiento de Agua Potable
$Q$	Caudal de diseño para el tanque homogenizador
$Q_d$	Caudal de diseño
$R$	Resistencia específica de lodo
$R_c$	Radio del cono
$R_{F/E}$	Relación altura fosa de lodos/espesador
$R_{R/C}$	Relación base de rasqueta/cono
$S$	Producción de lodos en base seca
$SS$	Concentración de sólidos suspendidos totales

SST	Sólidos suspendidos totales
trh	Tiempo de residencia hidráulico para el tanque homogenizador
trh <sub>1</sub>	Tiempo de residencia hidráulico del espesador de lodos por gravedad
trh <sub>2</sub>	Tiempo de residencia hidráulico de las eras de secado
V	Volumen del cilindro
Vac	Volumen de agua cruda
Vat	Volumen de agua tratada
Vc	Volumen de coagulante
VI	Volumen de lodo
Vr	Volumen de agua de retrolavado
V <sub>les</sub>	Volumen de lodo a secar
°	Grados
%	Porcentaje
%el	Porcentaje de extracción de lodo
%H	Porcentaje de humedad
%s	Porcentaje de sólido
$\pi$	Pi
$\delta$	Densidad de lodo
$\alpha$	Pendiente del cono
$\theta_A$	Pendiente amplitud
$\theta_L$	Pendiente longitud

## RESUMEN

El objetivo fue diseñar un sistema para el tratamiento de los lodos generados en la Planta de Potabilización de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Sucúa, (EPMAPA-S) ubicada en el sector El Topo, provincia de Morona Santiago. La investigación se inició con la caracterización de muestras de los lodos descargados durante la purga y lavado de sedimentadores y retrolavado de filtros, donde de acuerdo con los resultados se consideró tratar únicamente a los lodos de los sedimentadores debido a que la presencia tanto de Sólidos Totales y de Sulfato de aluminio que se encuentran fuera de la normativa. Para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de lodos se realizó pruebas preliminares de sedimentabilidad donde se estableció el tiempo promedio de sedimentación, además de la determinación del caudal de purga que fue de 2,4 m<sup>3</sup>/d, y la caracterización físico-química de los lodos generados, determinándose que las concentraciones de Sólidos totales, Sedimentables, Suspendidos, Turbiedad y pH fueron de 22500 mg/L, 790 mL/L, 21560 mg/L, 6,69 y 11300 NTU respectivamente. A partir de dichos valores se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema propuesto, el mismo que constará de un tanque homogenizador de 36 m<sup>3</sup> de volumen; un espesador de lodos por gravedad de 9 m<sup>3</sup> y dos lechos de secado de 12,69 m de longitud, 3,5 m de ancho y 2,09 m de profundidad, los mismos que permitirán la deshidratación de los lodos en un período de 13 días. El diseño propuesto ayudará reducir el volumen de fango generado en el proceso de tratamiento en un 40 % con lo que podrá disponerse en el relleno sanitario. Se recomienda realizar análisis físico-químicos al agua del clarificado sobrenadante obtenido del espesador de lodos por gravedad y eras de secado para verificar sus características de descarga.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <AGUA POTABLE>, <LODOS QUÍMICOS>, <HOMOGENIZADOR DE LODOS>, <ESPESADOR DE LODOS POR GRAVEDAD>, <LECHOS DE SECADO>

## SUMMARY

The objective was to design a system for the treatment of sludge generated in the Potabilization Plant of the Municipal Public Company of Drinking Water and Sewerage – Sucúa (EPMAPA-S) located in the El Topo sector, Morona Santiago province. The investigation began with the characterization of the sludge discharged during the purging and washing of settling tanks and backwashing of filters, where according to the results it was considered to treat only the sludge from the settlers because the presence of both total Solids and Aluminum Sulphate that are outside the regulations. For the sizing of the sludge treatment system, preliminary sedimentation test were performed where the average sedimentation time was established, in addition to the determination of the purge flow rate of 2,4 m<sup>3</sup>/d, and the physical-chemical characterization of the generated sludge, determining are the concentration of Total Solids, Sedimentables, Suspended, Turbidity and pH were 22500mg/L, 790mL/L, 21560mg/L, 6,69 and 11300 NTU respectively. From these values, the sizing of the proposed system was carried out, which will consist of a homogenizer tank of 36m<sup>3</sup> of volumen; a sludge thickener, by gravity of 9m<sup>3</sup> and two drying beds of 12,69m in length, 3,5m in width and 2,09m in Depth, which will allow the dehydration of the sludge in a period of 13 days. The proposed design will help to reduce de volumen of sludge generated in the treatment process by 40% that can be disposed in the sanitary landfill. It is recommended to carry out physical-chemical analyzes to the water of the clarified supernatant obtained from the sludge thickener by gravity and drying times to verify its discharge characteristics.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TREATMENT SYSTEMS>, <DRINKING WATER>, <CHEMICAL SLUDGE>, <SLUDGE HOMOGENIZER>, <GRAVITY SLUDGE THICKNESS>, <DRYING SEEDS>

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la operación en las PTAP, la principal actividad está enfocada en la obtención de un agua que presente una calidad adecuada para su distribución y consumo en la población; mientras que, en lo referente a la gestión de los residuos subproducto del proceso de potabilización como lo son los lodos químicos obtenidos en el proceso de coagulación-floculación y posterior sedimentación, no han tenido una debida consideración, por lo tanto, al no poseer un adecuado manejo contaminan los recursos naturales como agua y suelo, al ser dispuestos en terrenos o cauces hídricos sin un adecuado tratamiento.

El agua tratada en la planta de potabilización de la EPMAPA-Sucúa, al tratarse de un afluente superficial, está expuesta a la variabilidad climática que pueden alterar su calidad normal, aumentando en gran cantidad los sólidos causantes de turbidez y color, debido al arrastre de los mismos por el aumento del caudal de las fuentes hídricas que abastecen al sistema. Dichas variaciones ocasionan que en el proceso de potabilización se adicionen insumos químicos como Sulfato de Aluminio y Polímero, los cuales fomentan el proceso de coagulación-floculación, sin embargo, la aplicación de dichos insumos genera grandes cantidades de lodos inorgánicos, que deben ser tratados antes de su descarga para evitar la contaminación del medio receptor; ya que dichas descargas no cumplen con las características de los parámetros de calidad establecidos en la normativa ambiental aplicable.

Generalmente, se ha considerado a los lodos generados en el proceso de potabilización, como una formación de sustancias naturales presentes en el agua cruda, como arcillas, arenas, limos, etc.; sin embargo, se debe añadir a esto componentes tóxicos utilizados en el proceso de tratamiento del agua, con esto, se hace referencia a hidróxidos de hierro o aluminio utilizados para la clarificación, dichos compuestos al ser inorgánicos se convierten en no putrescibles, provocando contaminación ambiental y variación en el hábitat, al ser descargados sin un adecuado tratamiento.

Dichas descargas al no ser tratadas ocasionan problemas importantes en el ambiente, ya que presentan elevada cantidad de sólidos que forman bancos de fangos y aumentan la turbidez y color del agua, reduciendo la actividad fotosintética de los organismos acuáticos que habitan en los cuerpos hídricos receptores. (Ramírez Quirós, 2008 pág. 47)

Cabe reiterar que, las normativas ambientales son cada día más exigentes en cuanto a la calidad de las descargas vertidas, ya sea a cuerpos receptores como al sistema de alcantarillado; lo cual

conllea a implementar y optimizar la gestión de los residuos desde su generación hasta su disposición final o reutilización.

## JUSTIFICACIÓN

El proceso de potabilización del agua para consumo humano implica la generación de lodos residuales de carácter inorgánico, los cuales son generados en las diversas etapas del proceso y no son considerados con un valor tecnológico por lo que se descargan sin tratamiento a afluentes hídricos.

Generalmente, los lodos producto del tratamiento de agua potable, contienen un porcentaje de sólidos del 1% (Romero Rojas, 2006 pág. 288) lo que dificulta su manejo, transporte y disposición final debido al gran volumen que ocupan; adicionalmente, los componentes químicos y microbiológicos de estos lodos condicionan su uso, por lo cual dichos parámetros deben ser sometidos a evaluación.

En la PTAP de la EPMAPA-Sucúa ubicada en la vía Sucúa-Tambache, se cuenta con cuatro sedimentadores de flujo ascendente, cada uno de ellos con una capacidad de 18m<sup>3</sup>, los cuales se descargan a razón de dos cada semana, obteniéndose una descarga semanal de 36m<sup>3</sup> de lodos químicos.

Es así que, dentro del Directorio Ejecutivo de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Sucúa, se ha generado la preocupación por dicha problemática, por tanto, se busca establecer técnicas para el manejo de dichos lodos generados en la PTAP ubicada en la vía Sucúa-Tambache; siendo parte importante el tratamiento de los mismos ya que son vertidos a un afluente del Río Miriumi, sin un previo tratamiento, generando daños ambientales relacionados con la contaminación y daños estéticos del cauce del río. Es necesario recalcar que la gestión y tratamiento de este tipo de residuos no solo conlleva a un beneficio ambiental, sino también a un beneficio administrativo.

Al realizar dicho tratamiento, se devolverá la belleza paisajística del entorno, siendo que dicho río es un balneario natural, beneficiando no solamente a la EPMAPA-Sucúa, sino también a la población aledaña al cauce del río.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema para el tratamiento de los lodos generados en la Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, ubicada en el sector el Topo.

### **Específicos**

- Caracterizar los lodos generados en la Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, en base a análisis físico-químicos y microbiológicos.
- Ejecutar pruebas de tratabilidad que nos permita obtener los resultados adecuados para el diseño del sistema de tratamiento más idóneo.
- Realizar los cálculos de ingeniería, dimensionamiento de unidades, diagramas de proceso y especificaciones de la planta.
- Establecer un sistema para la concentración de los lodos.

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **1.1. Potabilización del Agua**

El ser humano, en la realización de diversas actividades tales como la agricultura, ganadería, industria y recreación, ha sido el causante del detrimento de la calidad del agua cruda debido a las descargas de contaminantes que contienen sustancias químicas y microbiológicas que alteran su composición y afectan sus características estéticas.

Para contrarrestar este problema, es necesario tratar el agua cruda mediante diferentes procesos y operaciones unitarias, con la finalidad de hacerla potable para el consumo humano.

Una operación unitaria es un proceso químico, físico o biológico, mediante el cual las sustancias indeseables contenidas en el agua son eliminadas o transformadas en sustancias inocuas para el hombre.

#### **1.2. Plantas de tratamiento de agua**

Una planta de tratamiento de agua potable es una secuencia de procesos u operaciones unitarias, los cuales se seleccionan a conveniencia según las necesidades de remoción de los contaminantes, ya sean de carácter físico, químico o microbiológico presentes en el agua cruda, hasta hacer que sus características se encuentren dentro de los límites aceptables estipulados en la normativa vigente para el consumo humano. (Cánepa, 2004 pág. 110)

De acuerdo con el tipo de proceso, las plantas de tratamiento de aguas se clasifican en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

##### ***1.2.1. Procesos de tratamiento para la potabilización del agua***

Generalmente, las plantas de potabilización llevan un lineamiento en común, las cuales varían de acuerdo con las características del agua cruda. Los principales procesos en el tratamiento del agua potable son:

- Pre tratamiento
- Mezcla Rápida
- Coagulación-Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

#### *1.2.1.1. Pre tratamiento*

Consiste en la eliminación de sólidos de gran tamaño que puedan estar presentes en el agua en su punto de captación, regularmente se trata de hojas, ramas de árboles, piedras, arena, etc.; para dicho proceso se utilizan rejillas o tamices y desarenadores que permitan la sedimentación de los sólidos por gravedad. Posterior a ello, el agua se somete a un proceso de aireación dependiendo de las operaciones que se realizan en la planta de tratamiento; por lo regular, se le permite al agua caer en forma de cascada con el objetivo de aumentar la proporción de oxígeno disuelto en el agua y facilitar la depuración de la misma mediante bacterias aerobias.

#### *1.2.1.2. Mezcla Rápida*

En las plantas de potabilización la unidad de mezcla rápida tiene la finalidad de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa de agua. La mezcla rápida se efectúa mediante turbulencia provocada por medios hidráulicos o mecánicos como: resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, vertederos, mezcladores mecánicos, tanques con equipos para mezcla rápida, etc. (Romero Rojas, 2006a: pág. 49)

#### *1.2.1.3. Coagulación-Floculación*

- Coagulación: etapa del proceso de potabilización en la que se adicionan insumos químicos al agua con la finalidad de formar especies hidrolizadas con carga positiva. Dicho proceso tarda desde décimas de segundo hasta cerca de los 100 y se realiza en la unidad de mezcla rápida. La efectividad de dicho proceso depende principalmente del pH, temperatura, cantidad de partículas. (Organización Panamericana de la Salud, 2004a: págs. 153-154). Los productos químicos frecuentemente utilizados como coagulantes en la potabilización del agua son: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico.

- Floculación: mezcla suave de las partículas formadas en la coagulación, tiene la finalidad de incrementar las colisiones entre los coloides desestabilizados sin romper los agregados formados. Se realiza en un tanque dotado de una mezcla suave, lenta y un tiempo de retención prolongado. (Romero Rojas, 2006b: pág. 79). La principal función de la floculación es congrega las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones con mayor peso; se suelen emplear ayudantes de floculación como los polielectrolitos.

#### *1.2.1.4. Sedimentación*

Es la remoción de las partículas en suspensión presentes en el agua utilizando la fuerza de la gravedad; dichas partículas deberán poseer un peso específico mayor al fluido que las soporta. Es un fenómeno íntegramente físico y constituye uno de los procesos utilizados para la clarificación del agua dentro de su potabilización. El resultado final del proceso será un fluido clarificado y una suspensión concentrada. (Maldonado Yactayo, 2004a: pág. 3)

La sedimentación se produce en tanques de forma rectangular o circular, obteniéndose agua clarificada en la parte superior y en el fondo una corriente de lodos que contiene los flóculos sedimentados.

#### *1.2.1.5. Filtración*

Etapas final de clarificación en el proceso de tratamiento de agua potable y consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una solución que atraviesa por un medio poroso generalmente de arena y/o antracita. (Maldonado Yactayo, 2004b: pág. 83)

La filtración remueve el material suspendido (turbiedad), flóculos, metales y microorganismos. La remoción de turbiedad en la filtración es importante para la eliminación de los microorganismos ya que impide la interferencia de la misma como protección ante la acción del desinfectante. (Romero Rojas, 2006c: págs. 193-194)

Los medios filtrantes mayormente utilizados son una combinación de grava, arena/antracita y carbón activado. El último material mencionado, además de retener material particulado, elimina por adsorción sustancias orgánicas previniendo la aparición de olores y/o sabores en el agua filtrada.

#### *1.2.1.6. Desinfección*

Es el último proceso unitario en el tratamiento del agua potable y tiene como objeto primordial avalar la calidad del agua en su aspecto microbiológico, asegurando que su consumo sea inocuo en la salud humana. (Organización Panamericana de la Salud, 2004b: pág. 155).

La desinfección puede conseguirse mediante procesos físicos como la radiación o con la adición de insumos químicos. La cloración es el proceso químico más utilizado para la desinfección del agua y consiste en la aplicación de cloro o cualquiera de sus derivados como hipocloritos de calcio o sodio.

#### *1.2.2. Tipos de plantas potabilizadoras*

Considerando el manejo de los lodos químicos producidos en las plantas de tratamiento de agua, estas pueden dividirse en cuatro categorías:

- a) La primera categoría abarca a las plantas de clarificación, las cuales coagulan y filtran agua de origen superficial con la finalidad de remover color, turbiedad, bacterias y otros compuestos de origen orgánico. Dichas plantas usan sales de aluminio y hierro para la coagulación, además de polímeros como ayudantes del proceso.
- b) En la segunda categoría, se ubican las plantas de ablandamiento que reducen el contenido de calcio y magnesio contenido en el agua, mediante la aplicación de compuestos químicos como cal, hidróxido de sodio o bicarbonato de sodio.
- c) La tercera categoría congrega a las plantas que tienen por función la oxidación y filtración del agua de origen subterráneo, para la eliminación de hierro y manganeso, con la utilización de aireación y un fuerte agente oxidante como el cloro o permanganato de sodio.  
La mayor cantidad de lodos producidos en las plantas antes mencionadas provienen de los tanques de sedimentación y agua de lavado de los filtros.

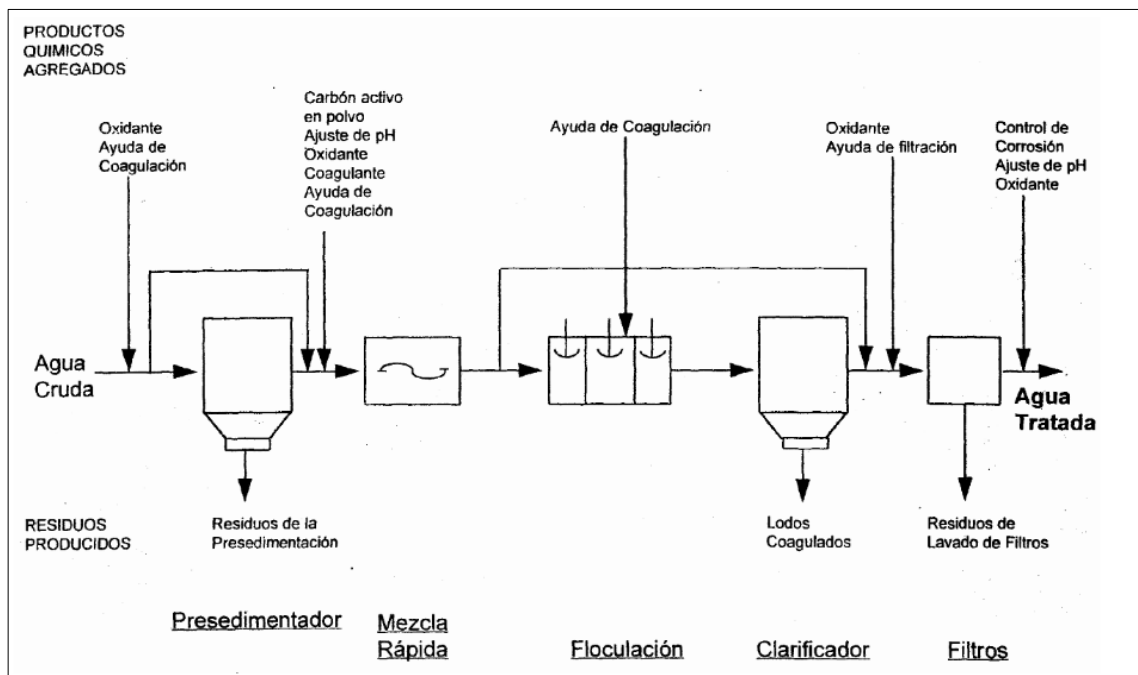
- d) Finalmente, en la cuarta categoría se incluyen a las plantas de tratamiento que utilizan procesos como intercambio iónico, adsorción y ósmosis inversas para la remoción de compuestos específicos como nitrato, fluoruro, arsénico, etc. (Comisión Nacional del Agua, 2007a: págs. 1-2)

### 1.2.3. Tipos de residuos generados

#### 1.2.3.1. Plantas de clarificación

En el proceso de potabilización mediante clarificación, se agregan al agua sales de aluminio, hierro y/o polímeros sintéticos para la coagulación de las partículas suspendidas y producir un clarificado apropiado para su filtración.

En las plantas anteriormente mencionadas, la mayor cantidad de coagulantes utilizados se depositan en el fondo de los tanques sedimentadores en forma de lodos. A estos lodos se les denomina lodos de sulfato de aluminio, de hierro o poliméricos, de acuerdo con el coagulante utilizado, los coagulantes e impurezas restantes se encuentran en el agua de lavado de los filtros, lo cual se representa en la Figura 1-1.



**Figura 1-1.** Procesos generadores de residuos en plantas de clarificación

**Fuente:** (Comisión Nacional del Agua, 2007 pág. 4) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Con estos procesos se tiene que, los principales residuos generados en las plantas de clarificación son:

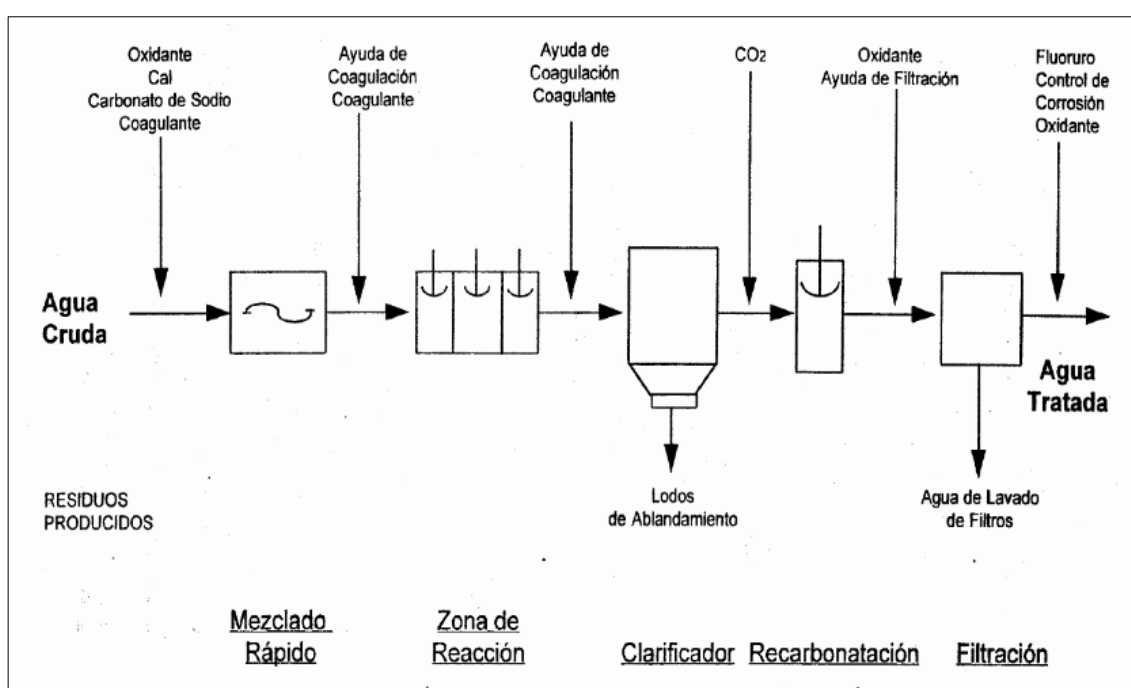
- Lodos de sulfato de aluminio, hierro y poliméricos
- Agua de lavado de filtros

### 1.2.3.2. Plantas de ablandamiento

En las plantas de ablandamiento cuyo objetivo es la reducción y/o eliminación de la dureza presente en el agua cruda, los residuos son originados por la precipitación de las sales insolubles de calcio y magnesio; lo cual se logra al adicionar hidróxido de calcio o bicarbonato sódico. Ver Figura 2-1.

Los residuos principales obtenidos de este tipo de planta son:

- Lodos de ablandamiento
- Agua de retrolavado de filtros



**Figura 2-1.** Procesos generadores de residuos en plantas de ablandamiento

**Fuente:** (Comisión Nacional del Agua, 2007 pág. 6) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

### 1.2.3.3. Plantas desferrizadoras

El objetivo en el cual se basan las plantas desferrizadoras es la eliminación de la concentración de hierro y manganeso mediante la oxidación y posterior precipitación de dichos compuestos metálicos. Los residuos importantes generados son:

- Lodos de hierro y manganeso
- Agua de lavado de filtros

### **1.3. Lodos provenientes del tratamiento de agua potable**

Años atrás en las estaciones de tratamiento de agua potable, solamente se gestionaba la producción de agua de buena calidad para el consumo humano, sin prestar atención a los lodos producidos en los sedimentadores, así como en el lavado de los filtros ya que se consideraba que dichos residuos estaban conformados por materiales inorgánicos como arcillas, arenas finas y limos presentes en las aguas naturales o brutas, sin considerar que las características de los mismos regularmente desobedecen las normativas ambientales vigentes en cuanto a la descarga de efluentes.

Actualmente se tiene conocimiento que las aguas naturales se han ido degradando por diversas circunstancias; además existe una mayor concientización ambiental y presión en la parte legislativa, lo cual ha llevado a que, las empresas y/o gestores de abastecimiento de agua potable se preocupen en la construcción de plantas de tratamiento de lodos con la finalidad de extraer el material sólido obteniendo un efluente libre de lodos para su descarga en el cauce de algún afluente o su recirculación al sistema de potabilización junto con el agua cruda. (Ramírez Quirós, 2008 pág. 47)

#### ***1.3.1. Tipos y cantidad de lodos generados***

La fuente de los residuos de una planta de potabilización, así como sus características y cantidades depende la composición del agua cruda, el tipo de tratamiento aplicado y la calidad del producto final. (Romero Rojas, 2006d: págs. 285-286).

Los lodos acumulados en los decantadores y lecho filtrante están principalmente constituidos por materias finas o coloidales como arena, arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos microscópicos y residuos de los insumos químicos utilizados en el tratamiento. (Díaz Aguirre et al., pág. 2).

Existen tres metodologías para estimar las cantidades de lodos generados: cálculo de la producción de lodos, balance de masa de coagulantes y determinación en el campo. Los métodos anteriormente mencionados no son totalmente exactos, por lo tanto, se requiere utilizar las tres metodologías para hacer una revisión cruzada.

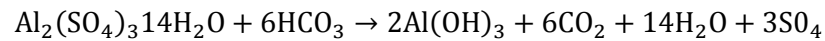
##### ***1.3.1.1. Plantas de clarificación***

- Cálculo de la producción de lodos



La cantidad de lodo producido por el sulfato de aluminio o sales de hierro se puede calcular con una gran precisión si se consideran las reacciones de dichos insumos químicos en el proceso de coagulación.

Según (Romero Rojas, 2006e: pág. 290), cuando se añade sulfato de aluminio al agua, la reacción que se presenta es la siguiente:



El compuesto predominante es el hidróxido de aluminio, el cual posee un peso molecular de 132, por lo tanto, 1 mg/L de sulfato de aluminio añadido al agua producirá 0,44 mg/L de sólidos inorgánicos de aluminio.

La cantidad de lodo producido utilizando como coagulante el sulfato de aluminio para la remoción de la turbiedad es:

$$S = 86,4Q(0,44\text{Al} + \text{SS} + \text{A})$$

**(Ecuación 1-1)**

donde:

S = lodo producido en base seca (kg/día)

Q = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Al = dosis de sulfato de aluminio como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (mg/L)

SS = sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/L)

A = productos químicos adicionales agregados (mg/L)

En el caso de que se utilice hierro como coagulante la ecuación es:

$$S = 86,4Q(2,9\text{Fe} + \text{SS} + \text{A})$$

**(Ecuación 2-1)**

donde:

Fe = dosis de ión férrico (mg/L)

La relación existente entre la turbiedad y los sólidos suspendidos presentes deben determinarse particularmente para cada agua.

- Balance de masa de coagulantes

Se basa en la conservación de masa de los coagulantes, es decir, los productos añadidos en la etapa de coagulación deben aparecer en el lodo, en el agua de lavado de los filtros y en el agua tratada.

Para la aplicación de este método se analiza en primer lugar al metal, ya sea el aluminio o hierro empleado en el coagulante; aproximadamente se puede suponer que el sulfato de aluminio tiene 9,1% de concentración de aluminio, mientras que la concentración de hierro se debe obtener de su fabricante debido su variedad de coagulantes.

Para el empleo de este método se requiere la recolección de muestras de agua proveniente del retrolavado de los filtros y del agua tratada, con la finalidad de determinar la concentración del metal empleado en el proceso de potabilización. El pH de las muestras debe bajarse a 1 y mantenerse así por un tiempo de entre 10 a 15 minutos, posterior a ello se filtra y determina la concentración del metal; a una segunda alícuota de las muestras sin acidificar se les determina la concentración de sólidos suspendidos. (Comisión Nacional del Agua, 2007b: pág. 23).

La cantidad de lodo generado se calcula mediante un balance de masa del metal presente en el coagulante, según la siguiente ecuación:

$$C_{mac}V_{ac} + C_{mc}V_c = C_{ml}V_l + C_{mr}V_r + C_{mat}V_{at}$$

**(Ecuación 3-1)**

donde:

$C_{mac}$  = concentración del metal en el agua cruda (mg/L)

$V_{ac}$  = volumen de agua cruda ( $m^3/d$ )

$C_{mc}$  = concentración del metal en el coagulante (mg/L)

$V_c$  = volumen de coagulante ( $m^3/d$ )

$C_{ml}$  = concentración de metal en el lodo (mg/L)

$V_l$  = volumen de lodo ( $m^3/d$ )

$C_{mr}$  = concentración del metal en el agua de retrolavado (mg/L)

$V_r$  = volumen de agua de retrolavado ( $m^3/d$ )

$C_{mat}$  = concentración del metal en el agua tratada (mg/L)

$V_{at}$  = volumen de agua tratada ( $m^3/d$ )

De este balance se obtiene el volumen del lodo y la masa del lodo se obtiene mediante la medición de la concentración de sólidos suspendidos en el lodo.

- Determinación de campo

Se considera como el método más difícil para la obtención de datos precisos en comparación con los anteriormente mencionados. Para la estimación de la cantidad de lodos, los estanques de sedimentación deben ser limpiados y fijar un periodo de tiempo para la recolección de los lodos. Se obtienen varias muestras de la sección transversal del sedimentador mediante la introducción de un tubo transparente con una válvula al pie; las muestras se toman de distintos puntos del sedimentador y se determinan los sólidos suspendidos presentes.

### 1.3.1.2. Plantas de ablandamiento

La producción de lodo correspondiente a las plantas de ablandamiento se calcula con la ecuación:

$$S = 86,4Q(F_{Ca}Ca + F_{Mg}Mg + 0,44 Al + 2,9Fe + SS + A)$$

**(Ecuación 4-1)**

donde:

S = producción de lodo (kg/día)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

Ca = dureza cálcica como CaCO<sub>3</sub> removida (mg/L)

Mg = dureza magnésica como CaCO<sub>3</sub> removida (mg/L)

Fe = dosis de hierro como Fe (mg/L)

Al = dosis de sulfato de aluminio como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> al 17,1% (mg/L)

SS = sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/L)

A = productos químicos adicionales agregados (mg/L)

**Tabla 1-1.** Valores de F<sub>Ca</sub> y F<sub>Mg</sub>

Producto químico	Dureza carbonatada		Dureza no carbonatada	
	F <sub>Ca</sub>	F <sub>Mg</sub>	F <sub>Ca</sub>	F <sub>Mg</sub>
Cal y carbonato	2,0	2,6	1,0	1,6
Hidróxido de sodio	1,0	0,6	1,0	0,6

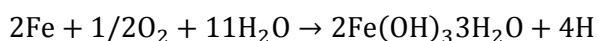
Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007 pág. 24) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

### 1.3.1.3. Plantas desferrizadoras

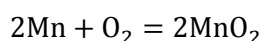
En las plantas diseñadas para la remoción de hierro, los lodos generados son similares a los de las plantas de clarificación en las que se emplean sales de hierro, debido a que se producen flóculos de hidróxido férrico. Las plantas desferrizadoras incluyen sistemas de aireación, adición de cloro o permanganato de potasio para oxidar el hierro y filtración.

Según (Comisión Nacional del Agua, 2007c: pág. 24) el peso seco del lodo que se produce es función directa al hierro removido:



Cada mg/L de Fe removido produce 2,9 mg de sólidos.

Para la oxidación del manganeso, el peso seco del lodo producido se calcula a partir de:



**(Ecuación 5-1)**

Cada mg/L de Mn removido produce 1,58 mg de sólidos.

Así tenemos:

$$S = 86,4Q(2,9\text{Fe} + 1,58\text{Mn} + \text{SS} + \text{A})$$

**(Ecuación 6-1)**

donde:

S = lodo producido (kg/día)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

Fe = concentración de hierro removido (mg/L)

Mn = concentración de manganeso removido (mg/L)

SS = sólidos suspendidos en el agua cruda (mg/L)

A = productos químicos adicionales agregados (mg/L)

### 1.3.2. Volumen de lodos generados

El volumen y concentración de sólidos suspendidos de los lodos generados en el proceso de potabilización y que salen de los sedimentadores dependen de la calidad del agua cruda, el tipo de tratamiento que se le da al agua y la metodología empleada para la remoción del lodo; por otra

parte, los lodos del retrolavado de los filtros, se encuentran en función de la eficiencia de la coagulación-floculación, sedimentación y operación de los filtros.

Las ecuaciones y procesos detallados en líneas anteriores permiten el cálculo del peso seco del lodo generado, pero no permiten la estimación del volumen del lodo, siendo este último un dato importante para el diseño y operación de planta.

Según (Comisión Nacional del Agua, 2007d: pág. 25) la concentración de los sólidos producidos con la adición de coagulantes a base de aluminio o hierro y para turbiedades bajas es de 0,1 a 1%; mientras que para turbiedades altas es de 2 a 4%. Adicionalmente, el volumen de lodo está entre 0,1 y 3% del caudal de agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento, con un promedio de 0,6%.

### ***1.3.3. Características de los lodos***

Como ya se mencionó anteriormente, las características de los lodos dependen de la calidad del agua cruda, el tipo de proceso de tratamiento que se le da al agua, los insumos químicos y residuos de los mismos.

Según (Comisión Nacional del Agua, 2007e: pág. 26) la caracterización para los lodos de alúmina es:

Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	30 a 300
Demanda química de oxígeno (mg/L)	30 a 5000
pH	6 a 8
Sólidos totales (%)	0,1 a 4
Óxido de aluminio (%)	15 a 40
Sílice e inertes (%)	35 a 70
Materia orgánica (%)	15 a 25
Aluminio disuelto (mg/L)	0,024 a 0,450
Aluminio total (mg/L)	808,3 a 2567
Manganeso disuelto (mg/L)	1,66 a 7,28
Manganeso total (mg/L)	46,5 a 73,9
Hierro disuelto (mg/L)	3,5 a 6,47
Hierro total (mg/L)	100 a 222
Carbón orgánico total (mg/L)	22,9 a 245
Giardia (quiste/L)	52,84 a 67, 1

Cryptosporidium (quiste/L)	26,42 a 38,4
----------------------------	--------------

Mientras que, los lodos provenientes de las plantas de ablandamiento presentan las siguientes características:

Carbonato de calcio (%)	85 a 93
Hidróxido de calcio (%)	0 a 1
Hidróxido de magnesio (%)	0,5 a 8
Sílice e inertes (%)	2 a 5

#### **1.4. Tecnologías de tratamiento de lodos**

##### ***1.4.1. Espesado de lodos***

La operación de espesamiento de lodos reside en la remoción del excedente de agua presente en los lodos mediante decantación y sedimentación para su concentración. El agua obtenida por decantación se puede recircular, mientras que los lodos espesados se pueden disponer o a otros procesos de secado. Para el espesado de los lodos se pueden utilizar tanques espesadores o lagunas.

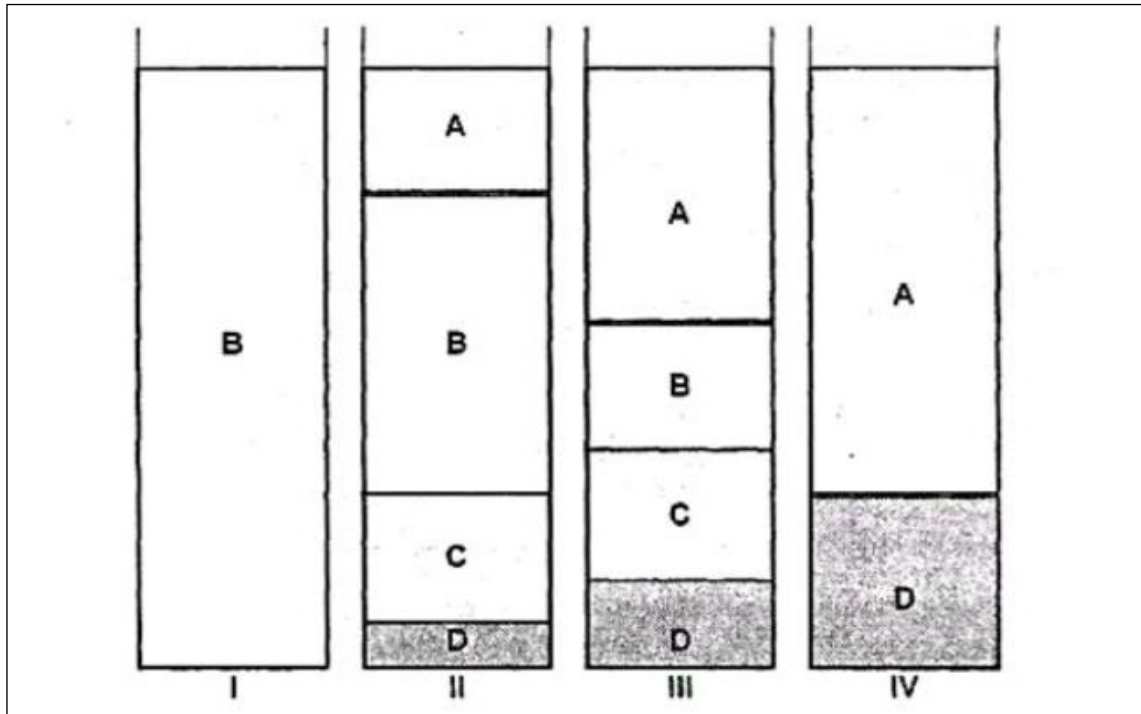
##### ***1.4.1.1. Tanques espesadores***

Comúnmente, un tanque espesador por gravedad según (Comisión Nacional del Agua, 2007f: pág. 27) se diseña de forma circular con una profundidad que va desde 3 a 4 metros y un diámetro hasta los 25 metros, debe poseer mecanismos para el desaguado y remoción del lodo. La pendiente del piso entre 2:12 a 3:12, al ser una pendiente mayor a la de los sedimentadores comunes, permite que la capa de lodos tenga mayor profundidad en el centro del tanque; el tiempo de retención se minimiza, la profundidad del lodo en el tubo de extracción se maximiza y se facilita la acción de las rastras.

Para el diseño de tanques espesadores se llevan a cabo pruebas de laboratorio como la prueba de sedimentación.

- **Prueba de Sedimentación:** Los lodos coagulados producen cuatro zonas de sedimentación, como se muestra en la Figura 3-1. Inicialmente, la concentración es uniforme como lo muestra B, después se desarrolla una interfase sólido-líquido, formándose una zona de líquido

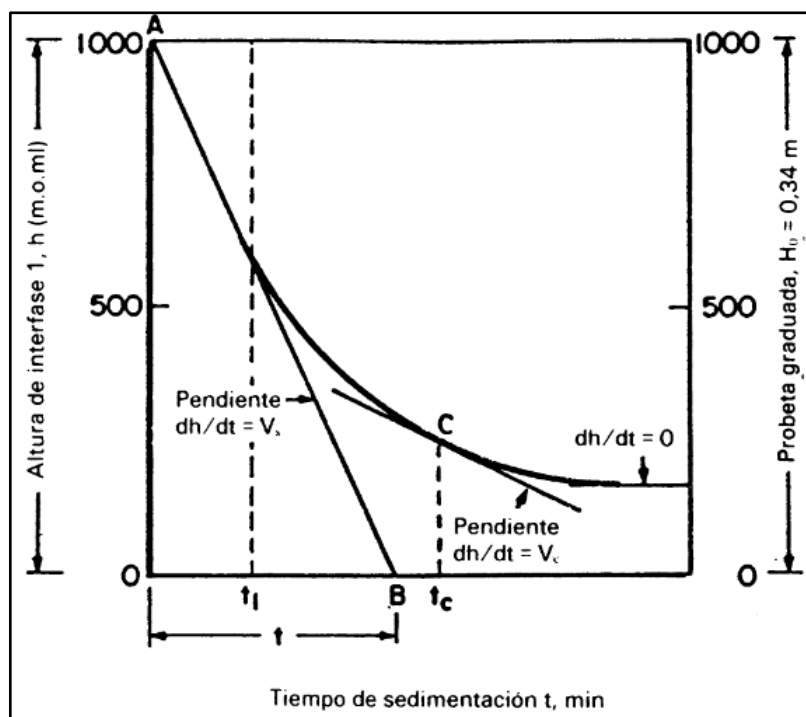
denominada A. En la zona B las partículas sedimentan a una velocidad uniforme. Al mismo tiempo que se forma la zona A, se forman también las zonas C y D, denominadas de transición y compresión respectivamente.



**Figura 3-1.** Zonas de sedimentación para una suspensión floculenta

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007 pág. 115) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

La prueba de sedimentación de laboratorio se realiza en una probeta de vidrio generalmente con un volumen de 1000 mL. Con los registros de la altura del lodo y el tiempo se ilustra una gráfica, de la cual se obtiene la velocidad de sedimentación al trazar la pendiente en la porción recta.



**Figura 4.1.** Curva de sedimentación de lodo

Fuente: (Ramalho, 2003 pág. 129) Tratamiento de aguas residuales

#### 1.4.1.2. Lagunas de espesamiento

Las lagunas de espesamiento son otro método el espesamiento de los lodos, no son muy utilizadas debido a que para su aplicación se requieren extensas áreas de terreno en la planta. Los lodos se depositan en las lagunas y el clarificado se decanta conforme se espese el lodo. También se pueden diseñar a las lagunas de espesamiento como lechos de secado.

Según la (Comisión Nacional del Agua, 2007g: pág. 28), los valores usados para diseñar las lagunas de espesamiento son los siguientes:

##### Lodos de hidróxido (aluminio y hierro)

Carga de sólidos	40 a 80 kg/m <sup>2</sup>
Tiempo de retención	2 a 3 meses
Concentración resultante	5%

##### Lodos de ablandamiento

Carga de sólidos	40 a 80 kg/m <sup>2</sup>
Tiempo de retención	2 a 3 meses
Concentración resultante	30



#### **1.4.2. Acondicionamiento de lodos**

El acondicionamiento de lodos hace referencia a las técnicas físicas y químicas empleadas para cambiar las características de los lodos y así facilitar la remoción del agua. La determinación de los agentes acondicionantes adecuados se realiza mediante pruebas de laboratorio para evaluar: resistencia específica, y tiempo de succión capilar. (Comisión Nacional del Agua, 2007h: pág. 29)

##### **1.4.2.1. Resistencia específica**

Utilizada para la optimización del proceso de desaguado de lodos. Para su realización en laboratorio se emplea un embudo Buchner y la aplicación de la ecuación de Carmen-Kozeny para flujo a través de medios porosos, dicha ecuación se modifica para el flujo en la torta de lodo, así tenemos:

$$R = \frac{2bPA^2}{uW}$$

**(Ecuación 7-1)**

donde:

R = resistencia específica del lodo (s<sup>2</sup>/g)

b = pendiente de la línea (s/cm<sup>6</sup>)

P = vacío aplicado (cm de agua)

A = área del filtro (cm<sup>2</sup>)

u = viscosidad del filtrado (poise)

W = peso seco de los sólidos por volumen de filtrado (g/cm<sup>3</sup>)

Con los resultados del proceso de filtrado se realiza una gráfica de tiempo-volumen filtrado vs volumen filtrado.

##### **1.4.2.2. Tiempo de succión capilar**

Es la prueba más simple y rápida para la determinación de las características de desaguado de lodos. Su realización en laboratorio se hace empleando el equipo para el tiempo de succión capilar, al cual se le coloca una muestra de lodo, de donde el líquido se extrae con un papel secante especial. Al pasar el líquido por el primer detector se acciona el cronómetro hasta que el líquido alcance el segundo detector, este último por lo regular se halla a 1cm del primero.

### **1.4.3. Deshidratación de lodos**

El objeto principal de la deshidratación de los lodos es reducir el volumen de los mismos y así generar un producto adecuado para su recuperación o disposición final.

#### **1.4.3.1. Métodos naturales**

La deshidratación natural es una alternativa para disminuir la cantidad de agua contenida en los lodos antes de su disposición final, aquí se considera la utilización de lechos de secado y las lagunas de desaguado.

- **Lechos de secado:** Operan bajo el principio de extender el lodo y dejarlo secar hasta alcanzar una concentración de sólidos deseada. Según (Comisión Nacional del Agua, 2007i: pág. 35), los lechos de secado se pueden clasificar en:  
Lechos rectangulares: contienen en su estructura arena, grava y un sistema de tuberías para el drenaje del agua.  
Lechos pavimentados: poseen una faja central de arena para drenado del agua.  
Lechos con malla de alambre: poseen un fondo con malla de alambre, instalaciones para inundar con agua poco profunda y la adición de una capa de lodo sobre el agua.  
Lechos de vacío: tienen una instalación para aplicar vacío con la finalidad de incrementar el drenaje.
- **Lagunas de desaguado:** Las lagunas de desaguado poseen características similares a las lagunas de espesamiento, con la diferencia de que, en éstas, cuando se ha decantado el agua, se deja secar el lodo como si fuera un lecho de secado. Se diseñan para almacenar los lodos por un determinado tiempo, poseen un fondo que evita la contaminación de aguas subterráneas. La concentración de lodos que se alcanza está entre un 7 a 10% en lodos con coagulantes.  
Dependiendo del espesor de los lodos húmedos, la evaporación puede tardar varios años. (Comisión Nacional del Agua, 2007j: pág. 47)

#### **1.4.3.2. Métodos mecánicos**

Los métodos mecánicos son utilizados cuando se requiere un mayor porcentaje de sólidos y/o no se dispone de espacio suficiente para la aplicación de métodos naturales para el secado de los lodos. Así se tienen los métodos más comunes:

- Centrífugas: utilizadas para la separación de líquidos de densidades diferentes, espesamiento de lodos y separación de sólidos. (Metcalf y Eddy, 1996 págs. 973-974)  
El proceso de centrifugación implica la clarificación y compactación; a pesar de su alto consumo energético se utilizan para deshidratar lodos.
- Filtros prensa de correa: ampliamente utilizados debido a su facilidad de operación y por su capacidad para generar lodos con un porcentaje de sólidos que va de 35 a 40%. (Romero Rojas, 2006f: pág. 296), antes de la aplicación de este tipo de filtro, el lodo debe ser acondicionado mediante la utilización de polímeros.
- Filtros prensa tipo presión: separa el líquido contenido en el lodo mediante de la aplicación de presión, la cual provoca que el líquido atraviese el medio filtrante dejando una torta de lodo concentrada en las placas del filtro. Opera por lotes y produce una torta con un porcentaje mayor al 35% de sólidos. (Comisión Nacional del Agua, 2007k: pág. 68)

#### ***1.4.4. Disposición final del lodo***

El rehúso del agua y/o contaminantes que están presentes en los lodos generados en una planta de potabilización se puede lograr mediante la recirculación del agua, reincorporándola en el tratamiento de potabilización.

Por otro lado, se puede reciclar el aluminio presente en los lodos, para lo cual se debería proveer con estudios que analice el costo beneficio de la recuperación de los coagulantes.

Dependiendo de la composición y tipo de lodo, se podría utilizarlo como materia prima de otro proceso industrial, ya sea en la fabricación de materiales de construcción. También se puede disponer para rellenar canteras o como material de cobertura en rellenos sanitarios.

Según (Romero Rojas, 2006g: pág. 300), la disposición final de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua potable se efectúa en rellenos sanitarios, para ello los lodos deben tener una concentración mayor al 35% de sólidos o por lo menos de 16%. Los lodos de plantas de ablandamiento con cal se utilizan con propósitos agrícolas, mientras que los lodos de alumbre se disponen en rellenos sanitarios.

## 1.5. Base legal

La Constitución de la República del Ecuador publicada en el Registro Oficial 449, de 20 de octubre de 2008, en el Capítulo Segundo, Sección Segunda, Ambiente Sano, el Art.14 establece:

*Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.*

*Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.* (Asamblea Nacional Constituyente, 2008 pág. 13)

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, uso y aprovechamiento del agua publicada en el Registro Oficial 305, de 6 de agosto de 2014, en la Sección Segunda establece los Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua:

*Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.*

*La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental.*

*Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.* (Asamblea Nacional, 2014 págs. 18-19)

El Código Orgánico Integral Penal en cuanto a materia ambiental establece en la Sección Segunda, Delitos contra los recursos naturales, así tenemos:

*Artículo 251.- Delitos contra el agua. - La persona que contraviniendo la normativa vigente, contamine, desee o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con pena privativa de libertad de tres a cinco años.* (Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos, 2014 pág. 100)

La Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, en la Parte Sexta concerniente a Plantas de Potabilización en el numeral 5.18 establece:

*5.18 Manejo y disposición de lodos. La necesidad de reducir al mínimo el impacto ambiental negativo que causa una planta potabilizadora de agua en la cual no se realice la disposición adecuada del agua residual y los lodos que se generan en el proceso de tratamiento, se considera importante incluir dentro de las instalaciones de la misma, los procesos unitarios que permitan manejar de forma correcta, disponer sin causar contaminación, y si es el caso, recuperar las sustancias aprovechables de estos lodos. (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, 2014 pág. 244)*

La regulación de las descargas de residuos está bajo supervisión del Ministerio del Ambiente, para lo cual se han establecido normas donde se establecen límites y máximos permisibles de sustancias contaminantes previo a su descarga o disposición final.

En la tabla 9 del libro VI, anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097A que reforma al TULSMA, se establecen las normas de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua de desechos considerados no peligrosos.

**Tabla 1-1:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100

Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos organoclorados	Compuestos organoclorados	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Compuestos organofosforados	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015, (Acuerdo Ministerial 097A)

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Localización del estudio**

El presente trabajo de titulación se desarrolló en las instalaciones de la Planta de Potabilización y Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Sucúa, ubicados en la vía a Tambache.

Adicionalmente, en la etapa de experimentación se realizaron las caracterizaciones de los lodos con la finalidad de obtener datos que ayuden a determinar el sistema de tratamiento más adecuado, los parámetros se analizaron en el laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) en la ciudad de Riobamba y fueron los siguientes: aluminio, coliformes fecales, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos y sulfatos.

#### **2.2. Lugar de muestreo**

La recolección de muestras tuvo lugar en la Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, en las diferentes unidades que conforman el sistema de tratamiento de agua potable, entre ellas se denota el vertedero de ingreso de agua cruda y las tuberías de descarga de lodos de sedimentadores y filtros.

Para la determinación de los puntos de muestreo de lodos, primeramente, se identificaron las fuentes generadoras de los mismos, siendo estas las unidades de sedimentación y filtración.

##### **2.2.1. Muestreo de Agua Cruda**

###### **2.2.1.1. Punto de muestreo**

Se tomó una muestra del agua cruda que ingresa a la planta de potabilización ya que la producción de lodos está estrechamente ligada a la calidad del agua que ingresa a la misma.

Para ello se consideró como punto de muestreo el vertedero de ingreso de agua ubicado antes de la mezcla rápida. Al ser el ingreso de agua constante se consideró la toma de una muestra puntual con un volumen de 2L.

#### *2.2.1.2. Materiales*

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- Recipiente plástico de 1 galón
- Recipiente estéril
- Cooler
- Refrigerante
- Guantes de nitrilo
- Mandil

#### *2.2.1.3. Procedimiento*

- a) Para el análisis físico-químico, la muestra se recolectó en un envase de 1 galón, en el punto de muestreo, posterior a ello, se introdujo la muestra en un cooler provisto a una temperatura de 4 °C para su almacenamiento y transporte al laboratorio.
- b) Para el análisis microbiológico, la muestra se recolectó en un envase estéril hasta completar  $\frac{3}{4}$  de su volumen, se cerró herméticamente y se introdujo en un cooler provisto a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y transporte al laboratorio.
- c) Se llenó el registro de datos correspondiente a la información del personal responsable del muestreo, el punto de muestreo y las condiciones climáticas del lugar en la hoja entregada por el Laboratorio de Control de Calidad de la EPMAPA-Sucúa.

Las muestras de agua cruda recolectadas fueron trasladadas al Laboratorio de Control de Calidad de la EPMAPA-Sucúa, en un tiempo no mayor a 15 minutos luego de su recolección.

#### *2.2.2. Muestreo de lodos de sedimentadores*

El lavado de los sedimentadores en la planta de potabilización de Sucúa se lo realizó 15 días después del último lavado, en cada lavado se drenaron 2 sedimentadores y se lavaron en un lapso



de 12 minutos cada uno, dando un total de 24 minutos en toda la operación. Durante los primeros 2 minutos se realizó la purga de los lodos, tiempo en el cual se evacuó todo el volumen de lodos contenido en el sedimentador.

#### *2.2.2.1. Punto de muestreo*

El punto de muestreo considerado para la recolección de las muestras fueron las tuberías de descarga de cada uno de los sedimentadores.

#### *2.2.2.2. Materiales*

- Recipiente plástico de 1 galón
- Recipiente plástico de 1 litro
- Balde plástico de 4 galones
- Recipiente estéril
- Cooler
- Refrigerante
- Guantes de nitrilo
- Mandil
- Botas de caucho
- Impermeable
- Linterna
- Cronómetro

#### *2.2.2.3. Procedimiento*

- a) Considerando los procesos que se dan en la planta de tratamiento de agua potable y la facilidad de muestreo, se tomaron 7 muestras puntuales de 1L.
- b) Para el análisis físico-químico, las muestras se recolectaron al inicio y cada 20 segundos en la tubería de descarga para la purga de los sedimentadores, dichas muestras se homogenizaron en un recipiente plástico y se seleccionó un volumen de 2L, el cual fue introducido en un cooler provisto a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y transporte al laboratorio.
- c) Para el análisis microbiológico, la muestra se recolectó en un envase estéril, mismo que fue ubicado en el punto de muestreo hasta completar  $\frac{3}{4}$  de su volumen, se cerró herméticamente

y se introdujo en un cooler provisto a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y transporte al laboratorio. Esta muestra se realizó una sola vez al finalizar el periodo de muestreo.

- d) Se llenó el registro de datos correspondiente a la información del personal responsable del muestreo, el punto de muestreo y las condiciones climáticas del lugar en la hoja entregada por el Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental.

Las muestras de lodos de los sedimentadores fueron trasladadas al Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) en la ciudad de Riobamba, en un tiempo de 3 horas luego de su recolección.

### **2.2.3. Muestreo de lodos de filtros**

Para el muestreo de los lodos de descarga de los filtros, al igual que en los sedimentadores se consideró la operación para el lavado de los mismos llevado a cabo en la planta de potabilización. Los lodos de los filtros se descargan 3 veces al día, en cada turno de los operadores de planta por un intervalo de 10 minutos.

#### **2.2.3.1. Punto de muestreo**

El punto de muestreo considerado para la recolección de las muestras fueron las tuberías de descarga de cada uno de los filtros.

#### **2.2.3.2. Materiales**

- Probeta plástica de 1 litro
- Recipiente plástico de 1 galón
- Balde plástico de 4 galones
- Recipiente estéril
- Cooler
- Refrigerante
- Guantes de nitrilo
- Mandil
- Botas de caucho
- Cronómetro

#### *2.2.3.3. Procedimiento*

- a) Considerando los procesos que se dan en la planta de tratamiento de agua potable y la facilidad de muestreo, se recolectaron 6 muestras puntuales de 500mL.
- b) Para el análisis físico-químico, las muestras se recolectaron al inicio y cada 2 minutos durante el proceso de lavado en la tubería de descarga los filtros, dichas muestras se homogenizaron en un recipiente plástico y se seleccionó un volumen de 2L, el cual fue introducido en un cooler provisto a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y transporte al laboratorio.
- c) Para el análisis microbiológico, la muestra se recolectó en un envase estéril, mismo que fue ubicado en el punto de muestreo hasta completar  $\frac{3}{4}$  de su volumen, se cerró herméticamente y se introdujo en un cooler provisto a una temperatura de 4°C para su almacenamiento y transporte al laboratorio. Esta muestra se realizó una sola vez al finalizar el periodo de muestreo.
- d) Se llenó el registro de datos correspondiente a la información del personal responsable del muestreo, el punto de muestreo y las condiciones climáticas del lugar en la hoja entregada por el Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental.

Las muestras de lodos de los filtros fueron trasladadas al Laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) en la ciudad de Riobamba, en un tiempo de 3 horas luego de su recolección.

### **2.3. Cuantificación de lodos**

#### *2.3.1. Lodos de sedimentadores*

El cálculo del caudal de purga de lodos se determinó por: la velocidad de descenso entre la altura de vaciado y el tiempo en que se purga el lodo de la unidad de sedimentación ( $dh/dt$ ). Se realizaron cuatro pruebas, una por cada sedimentador; en las que se midió el tiempo de vaciado y la altura que bajó el tirante de agua del sedimentador.

### **2.3.2. Lodos de filtros**

Para la cuantificación de los lodos generados en la unidad de filtración, se analizaron 4 lavados de filtros. Los tiempos utilizados para las descargas fueron de 10 minutos.

El caudal del lavado de filtros se calculó con una regleta graduada y se tomó el tiempo utilizado para dicha operación. La prueba se realizó para los 4 filtros de la Planta de Potabilización de Sucúa.

## **2.4. Caracterización de los lodos**

Para la caracterización de los lodos producidos en la Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, se realizaron pruebas de Sólidos Totales (ST), Sólidos Sedimentables (SS), Sólidos Suspendidos Totales (SST), turbiedad y pH. Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de control de calidad de la planta de Sucúa.

### **2.4.1. Técnicas para la caracterización de los lodos**

**Tabla 2-2.** Técnicas de caracterización de lodos

Parámetro		Método Utilizado
1	pH	4500-H <sup>+</sup> B: Método electrométrico
2	Turbidez	2130 B: Método nefelométrico
3	Sólidos Totales	2540 B: Sólidos totales secados a 103-105°C
4	Sólidos Suspendidos Totales	2540 D: Sólidos totales en suspensión secados a 103-105°C
		Método Fotométrico 8006 HACH
5	Sólidos Sedimentables	2540 F: Sólidos Sedimentables

Realizado por: Diana C. Macera V.

### **2.4.2. Purgas del sedimentador**

Para la caracterización de las purgas se consideró al sedimentador N° 4 debido a su facilidad para muestreo, se tomó como punto de partida el lavado realizado el día 30 de enero de 2017. Las purgas fueron realizadas en febrero 13, marzo 1, marzo 15 y marzo 31. La metodología utilizada se detalla en el muestreo de lodos para el sedimentador. De cada muestra se obtuvieron los valores de pH, turbiedad, sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables.

### **2.4.3. Lavado de filtros**

Para la caracterización de los lodos provenientes de los filtros, se lavaron los 4 filtros que operan en la planta de potabilización. La metodología utilizada se detalla en el muestreo de lodos para el filtro. De cada muestra se obtuvieron los valores de pH, turbiedad, sólidos totales y sólidos suspendidos totales.

## **2.5. Procesos de tratabilidad**

### **2.5.1. Prueba de sedimentación**

Las características de sedimentación para suspensiones concentradas como los lodos son muy diferentes a las de sustancias diluidas. Generalmente, los lodos producidos en las plantas de potabilización son floculados químicamente, por lo que, la sedimentación se lleva a cabo por zonas.

En el laboratorio, la prueba de sedimentación se realiza en una probeta de vidrio de 1000 mL a la cual se le añade el lodo homogenizado. Los lodos de clarificadores y sedimentadores de plantas de potabilización sedimentan con una interfase bien definida.

#### **2.5.1.1. Materiales**

- Probeta de vidrio con capacidad para 1000 mL
- Regla
- Cronómetro
- Libreta de anotaciones

#### **2.5.1.2. Reactivos**

- Lodo

#### **2.5.1.3. Procedimiento**

- a) Se llena la probeta con el lodo hasta la línea de aforo
- b) Inmediatamente se registra el valor de la altura y tiempo
- c) Se deja sedimentar y cada cierto tiempo se registran los valores de altura y tiempo

- d) Con los registros de altura de la interfase y el tiempo se traza una gráfica para la determinación de la curva de sedimentación.

### **2.5.2. Secado de lodos**

#### **2.5.2.1. Determinación del porcentaje de humedad**

La determinación del porcentaje de humedad de los lodos se realizó con las muestras provenientes de los 4 sedimentadores de la planta de potabilización, las cuales se sometieron a un proceso de sedimentación. La determinación de la humedad del lodo se llevó a cabo mediante la evaporación del agua contenida en la muestra y la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

**(Ecuación 1-2)**

donde:

P<sub>1</sub>= peso de la muestra húmeda (g)

P<sub>2</sub>= peso de la muestra seca (g)

#### **A. Materiales**

- Balanza analítica
- Espátula
- Estufa
- Crisoles
- Pinza para crisol
- Desecador

#### **B. Reactivos**

- Lodo

#### **C. Procedimiento**

- a) Colocar el crisol en la estufa, secarlo a 120 °C por dos horas y pesar.

- b) Colocar la muestra en el crisol y secarla a 60 °C durante dos horas, pesar hasta obtener un peso constante.

#### 2.5.2.2. Determinación del porcentaje de sólidos

La determinación del porcentaje de sólidos presente en los lodos se realizó de forma paralela a la determinación del porcentaje de humedad. La determinación del porcentaje de sólidos se llevó a cabo mediante la evaporación del agua contenida en la muestra y la aplicación de la siguiente regla de tres:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{P_2 * \% \text{ Total de sólidos}}{P_1}$$

**(Ecuación 2-1)**

donde:

P<sub>1</sub>= peso de la muestra húmeda (g)

P<sub>2</sub>= peso de la muestra seca (g)

#### A. Materiales

- Balanza analítica
- Espátula
- Estufa
- Crisoles
- Pinza para crisol
- Desecador

#### B. Reactivos

- Lodo

#### C. Procedimiento

- a. Colocar el crisol en la estufa, secarlo a 120 °C por dos horas y pesar.
- b. Colocar la muestra en el crisol y secarla a 94 °C durante una hora y pesar

## 2.6. Diseño del sistema para el tratamiento de los lodos

### 2.6.1. *Tanque Homogenizador*

El tanque homogenizador como unidad de igualación, es un tanque de forma cúbica que recibe el caudal proveniente del lavado de los sedimentadores, lo almacena y distribuye uniformemente para mantener un caudal constante en la siguiente unidad del proceso de tratamiento. Consta de dos tuberías, una para la parte superior, destinada al ingreso del lodo y otra en el fondo para la distribución del mismo hacia el espesador de lodos por gravedad.

#### 2.6.1.1. *Dimensionamiento*

El dimensionamiento para el tanque homogenizador está dado por las siguientes ecuaciones:

##### a) Cálculo del volumen del tanque homogenizador

El volumen del tanque homogenizador se establece con base en los datos obtenidos del caudal de descarga proveniente del lavado de los sedimentadores, así tenemos:

$Q$  = caudal de diseño para el tanque homogenizador ( $m^3/d$ )

$Trh$  = tiempo de residencia hidráulico (d)

Con estos datos aplicamos la siguiente ecuación:

$$V = Q \times Trh$$

**(Ecuación 3-2)**

##### b) Cálculo de las dimensiones del tanque homogenizador

Las dimensiones del tanque homogenizador se calculan geométricamente utilizando el volumen y una altura de construcción.

$V$  = volumen del tanque homogenizador ( $m^3$ )

$h$  = altura de construcción para el homogenizador (m)



Con esto tenemos:

$$V = h \times L^2$$

(Ecuación 4-2)

### 2.6.2. *Espesador de lodos por gravedad*

El espesador de lodos por gravedad como unidad de concentración de lodos, es un tanque circular, diseñado para permitir la sedimentación de los sólidos contenidos en el agua, está conformado por dos paletas que ayudan a la homogenización y transporte de las partículas sólidas hacia el fondo del espesador. El lodo acumulado en el fondo se retira con ayuda de la fuerza gravitacional mediante una tubería que lo lleva hacia el lecho de secado.

#### 2.6.2.1. *Criterios de diseño*

En la Tabla 3-2, se muestran los criterios de diseño utilizados en el dimensionamiento del espesador de lodos por gravedad.

**Tabla 3-2.** Criterios de diseño para el ELG

Parámetro	Símbolo	Valor		Unidad
		Rango	Típico	
Carga de sólidos del ELG	Css <sub>1</sub>	90 - 150	140	Kg/m <sup>2</sup> d
Tiempo de residencia hidráulico del ELG	trh <sub>1</sub>	1,5 - 2,5	2	h
Pendiente del cono	α	10 – 45	20	°
Altura de seguridad del ELG	Hs	0,5 - 1,5	1	m
Número de rasquetas	Nr	2 – 4	2	u
Relación altura fosa de lodos/espesador	R <sub>F/E</sub>	10 – 30	20	%
Relación base de rasquetas/cono	R <sub>R/C</sub>	5 - 15	10	%

Fuente: (Metcalf, y otros, 1996 pág. 669) Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

#### 2.6.2.2. *Dimensionamiento*

El dimensionamiento del espesador de lodos por gravedad está dado por las siguientes ecuaciones:

- a) Cálculo del área superficial (As<sub>1</sub>)

El área superficial del espesador de lodos por gravedad se determina con los siguientes datos:

$Q_d$  = caudal de diseño ( $m^3/d$ )

$SS$  = concentración de sólidos suspendidos totales ( $mg/L$ )

Y el valor para la carga de sólidos establecida en la Tabla 3-2, correspondiente a los criterios de diseño:

$C_{ss}$  = carga de sólidos ( $kg/m^2d$ )

Así tenemos la ecuación:

$$A_{s1} = \frac{Q_d \times SS}{C_{ss}}$$

**(Ecuación 5-2)**

b) Cálculo del diámetro del cilindro ( $D$ )

El dimensionamiento del diámetro del espesador de lodos por gravedad se calcula geoméricamente con el siguiente dato:

$A_{s1}$  = área superficial del espesador de lodos ( $m^2$ )

Con esto tenemos:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A_{s1}}{\pi}}$$

**(Ecuación 6-2)**

c) Cálculo del volumen del cilindro ( $V_c$ )

El cálculo del volumen del cilindro implica la utilización de los siguientes datos y ecuación:

$Q_d$  = caudal de diseño ( $m^3/d$ )

Y el parámetro de diseño de la Tabla 3-2:

$Tr_{h1}$  = tiempo de retención hidráulico para el espesador de lodos por gravedad ( $d$ )

Así tenemos:

$$V = Qd \times Trh_1$$

**(Ecuación 7-2)**

d) Cálculo de la altura del cilindro ( $H_1$ )

La altura del cilindro implica la utilización de los siguientes datos:

$V$  = volumen del cilindro ( $m^3$ )

$As_1$  = área superficial del espesor de lodos por gravedad ( $m^2$ )

Así obtenemos:

$$H_1 = \frac{V}{As_1}$$

**(Ecuación 8-2)**

e) Cálculo de la altura del cono ( $H_2$ )

Para calcular la altura del cono del espesor de lodos por gravedad se emplean los siguientes datos:

$D$  = diámetro del cilindro (m)

$\alpha$  = el parámetro de diseño detallado en la Tabla 3-2:

$\alpha$  = pendiente del cono ( $^\circ$ )

Con estos datos tenemos:

$$H_2 = \tan \alpha \times \frac{D}{2}$$

**(Ecuación 9-2)**

f) Cálculo de la fosa de lodos ( $H_3$ )

Para el cálculo de la fosa de lodos se emplean los siguientes datos:

$H_1$  = altura del cilindro (m)

$H_2$  = altura del cono (m)

Y los criterios de diseño expuestos en la Tabla 3-2:

$H_{s1}$  = altura de seguridad del espesador de lodos por gravedad (m)

$R_{f/e}$  = relación altura fosa de lodos/espesador (%)

Así tenemos:

$$H_3 = (H_1 + H_2 + H_{s1}) \times R_{f/e}$$

**(Ecuación 10-2)**

g) Cálculo de la altura total del espesador ( $H_t$ )

Para el cálculo de la altura total del espesador se consideran los siguientes datos:

$H_1$  = altura del cilindro (m)

$H_2$  = altura del cono (m)

$H_3$  = altura de la fosa de lodos (m)

Y el criterio de diseño de la Tabla 3-2:

$H_{s1}$  = altura de seguridad del espesador de lodos por gravedad (m)

Así tenemos:

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 + H_{s1}$$

**(Ecuación 11-2)**

h) Cálculo del diámetro de la fosa de lodos ( $D_f$ )

Se calcula geométricamente empleando los siguientes datos:

$D$  = diámetro del cilindro (m)

Tenemos:

$$D_f = 0,2 \times D$$

**(Ecuación 12-2)**

i) Cálculo del radio del cono ( $R_c$ )

El radio del cono se obtiene con los siguientes datos:

D = diámetro del cilindro (m)

H<sub>2</sub> = altura del cono (m)

Con estos datos obtenemos lo siguiente:

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 \times (H_2)^2}$$

**(Ecuación 13-2)**

j) Cálculo del área del cono (A<sub>c</sub>)

En el cálculo del área del cono se involucran los siguientes datos

D = diámetro del cilindro (m)

R<sub>c</sub> = radio del cono (m)

Así obtenemos:

$$A_c = \pi \times \frac{D}{2} \times R_c$$

**(Ecuación 14-2)**

k) Cálculo de la longitud de rasqueta unitaria (L<sub>ru</sub>)

Para el cálculo de la longitud de rasqueta unitaria se emplea el siguiente dato:

H<sub>t</sub> = altura total del espesador de lodos por gravedad (m)

Entonces tenemos:

$$L_{ru} = 0,1 \times H_t$$

**(Ecuación 15-2)**

l) Cálculo de la longitud de rasqueta total (L<sub>tr</sub>)

La longitud de total de la rasqueta se obtiene con la aplicación de los siguientes datos:

Lru = longitud de rasqueta unitaria (m)

Y el criterio de diseño detallado en la Tabla 3-2:

Nr = número de rasquetas

Así tenemos:

$$Ltr = Lru \times Nr$$

**(Ecuación 16-2)**

m) Cálculo de la base de rasqueta unitaria (Bru)

Para el cálculo de la base de la rasqueta unitaria del espesador de lodos por gravedad se emplean los siguientes datos:

Ac = área del cono (m<sup>2</sup>)

Ltr = longitud total de rasqueta (m)

Y el parámetro de diseño de la Tabla 3-2:

R<sub>r/c</sub> = relación base de rasquetas/cono (%)

Con los datos anteriores, tenemos:

$$Bru = \frac{R_{r/c} \times A_c}{Ltr}$$

**(Ecuación 17-2)**

### **2.6.3. Era de secado**

La era de secado como unidad de desaguado, deshidratación y concentración de lodos, cuenta con un lecho filtrante compuesto por arena, grava fina, gruesa y piedras, los cuales tienen la función de retener el lodo seco, mientras que en el fondo del lecho de secado se encuentran tuberías para el drenaje del agua filtrada.

### 2.6.3.1. Criterios de diseño

En la Tabla 4-2, se muestran los criterios de diseño en los que se basa el dimensionamiento de las eras de secado.

**Tabla 4-2.** Criterios de diseño para EDS

Parámetro	Símbolo	Valor		Unidad
		Rango	Típico	
Densidad de lodo	$\delta$	-	1,04	Kg/L
Porcentaje de sólido	%s	-	8	%
Tiempo de residencia hidráulico de las EDS	$trh_2$	5 - 30	20	d
Porcentaje de extracción de lodo	%el	20 – 80	50	%
Altura de lodo	$h_1$	-	0,15	m
Altura de arena	$h_2$	-	0,15	m
Altura de grava fina	$h_4$	-	0,15	m
Altura de grava gruesa	$h_5$	-	0,15	m
Altura de piedra	$h_6$	-	0,15	m
Altura de seguridad de las EDS	$h_s$	0,5 - 1	0,5	m
Ancho de era	B	1 – 3,5	3	m
Número de eras	Nº	2 - 10	6	u
Pendiente de longitud	$\Theta_L$	1 – 5	2	°
Pendiente de amplitud	$\Theta_A$	5 – 10	8	°

Fuente: (Metcalf, y otros, 1996 pág. 985) Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

### 2.6.3.2. Dimensionamiento

El dimensionamiento de las eras de secado está dado por el empleo de las siguientes ecuaciones:

a) Cálculo del volumen de lodo a secar (VIs)

Se obtiene con la aplicación de los siguientes datos:

VI = volumen de lodo ( $m^3$ )

%H = porcentaje de humedad

%s = porcentaje de sólido

Así obtenemos:

$$V_{ls} = Q_d \times \%H \times \%s$$

**(Ecuación 18-2)**

b) Cálculo del área superficial de la era ( $As_2$ )

Para el cálculo del área superficial de la era de secado se utilizan los siguientes datos:

$V_{ls}$  = volumen de lodo a secar ( $m^3$ )

Y el parámetro de diseño de la Tabla 4-2:

$h_1$  = altura del lodo (m)

Así obtenemos:

$$As_2 = \frac{V_{ls}}{h_1}$$

**(Ecuación 19-2)**

c) Cálculo de la longitud de la era ( $L_2$ )

La longitud de la era se calcula geométricamente con los siguientes datos:

$As_2$  = área superficial de la era de secado ( $m^2$ )

Y el criterio de diseño expuesto en la Tabla 4-2:

$B = 3,5$  m

Con los datos anteriormente detallados tenemos:

$$L_2 = \frac{As_2}{B}$$

**(Ecuación 20-2)**

d) Cálculo de la altura de inclinación en longitud ( $h_2$ )

La altura de inclinación en longitud para la era de secado se calcula utilizando los siguientes datos:



$L_2$  = longitud de la era (m)

Y el criterio de diseño detallado en la Tabla 4-2:

$\Theta_L$  = pendiente de longitud (°)

Con estos datos tenemos lo siguiente:

$$h_2 = \tan \theta_L \times L_2$$

**(Ecuación 21-2)**

e) Cálculo de la altura de inclinación en amplitud ( $h_7$ )

La altura de inclinación en amplitud para la era de secado se calcula utilizando los siguientes datos:

Parámetros de diseño de la Tabla 4-2:

$B$  = ancho de la era (m)

$\Theta_A$  = pendiente de amplitud (°)

Con estos datos tenemos lo siguiente:

$$h_7 = \tan \theta_A \times B$$

**(Ecuación 22-2)**

f) Cálculo de la altura total de la era ( $h_t$ )

La altura total de la era de secado se calcula geométricamente utilizando:

$h_2$  = altura de inclinación en longitud (m)

$h_7$  = altura de inclinación en amplitud (m)

Y los criterios de diseño detallados en la Tabla 4-2:

$h_1$  = altura del lodo (m)

$h_3$  = altura de la arena (m)

$h_4$  = altura de la grava fina (m)

$h_5$  = altura de la grava gruesa (m)

$h_6$  = altura de la piedra (m)

$h_s$  = altura de seguridad (m)

Con los datos anteriores tenemos lo siguiente:

$$h_t = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_s$$

**(Ecuación 23-2)**

## CAPÍTULO III

### 3. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Localización del estudio

La presente investigación se desarrolló en el Laboratorio de Control de Calidad y Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, ubicada en la Provincia Morona Santiago, Cantón Sucúa, kilómetro 1 ½ de la vía a Tambache en el sector El Topo.

El sitio tiene por coordenadas 17M, 813249.97 m Oeste, 9730264.80 m Sur, 875msnm.



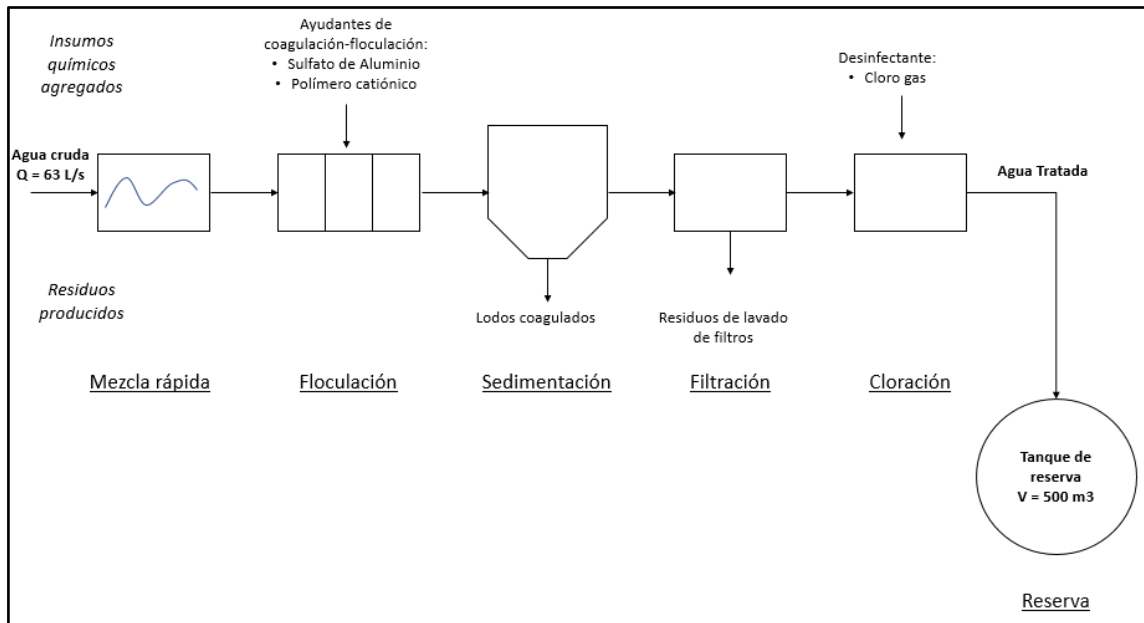
**Fotografía 1-3.** Ubicación PTAP de la EPMAPA-Sucúa sector vía a Tambache

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

#### 3.2. Lugar de muestreo

En la Figura 1-3 se muestra el diagrama del tratamiento de agua potable en la Planta de Potabilización de Sucúa, la cual está diseñada para tratar un caudal de 63 L/s de agua cruda, consta de una unidad de coagulación-floculación dividida en 2 secciones con la finalidad de reducir la velocidad del agua, en dicha unidad se adiciona Sulfato de Aluminio y Polímero Catiónico como coagulantes, seguido a esto se encuentran 4 sedimentadores de flujo ascendente con la capacidad de almacenar 36 m<sup>3</sup> de agua, los cuales trabajan en parejas y envían el agua sedimentada hacia

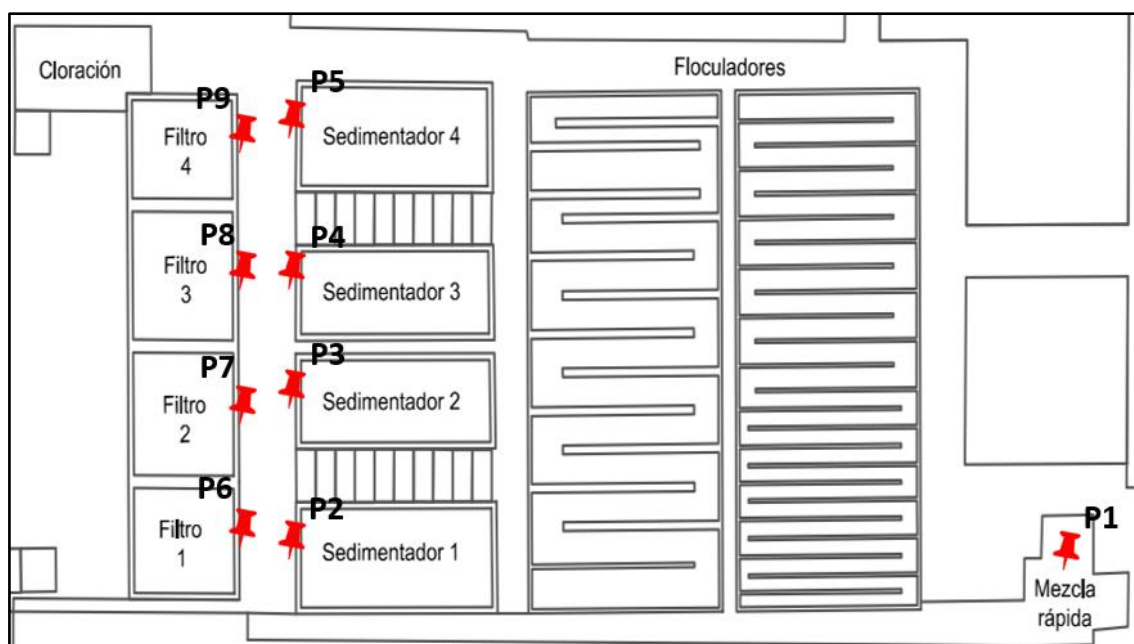
los filtros por medio de tuberías perforadas ubicadas en la superficie de los mismos; la unidad de filtración está conformada por 4 filtros rápidos de arena que operan de forma individual y envían el agua hacia la unidad de cloración donde se adiciona cloro gas como agente desinfectante y finalmente el agua se dirige a un tanque circular de 500 m<sup>3</sup> de capacidad, para su almacenamiento y distribución hacia la población de la ciudad de Sucúa.



**Figura 1-3.** Diagrama de tratamiento de agua potable en la PTAP-Sucúa

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

El lugar asignado para el muestreo de los lodos residuales del proceso de potabilización y sujetos de investigación para el desarrollo del presente trabajo de titulación concernió a las tuberías de descarga de los sedimentadores y filtros de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la EPMAPA-Sucúa ubicada en la vía a Tambache, dichas unidades y puntos de muestreo se detallan en la Figura 2-3.



**Figura 2-3.** Puntos de muestreo

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

### 3.2.1. Muestreo de Agua Cruda

El muestreo para la caracterización del agua cruda que ingresa a la planta de potabilización se realizó en el vertedero ubicado antes de la mezcla rápida, se escogió dicho punto al considerarlo accesible para el muestreo.

En la Tabla 1-3, se muestran los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados en la muestra de agua cruda que ingresa a la planta de potabilización de Sucúa.

**Tabla 1-3.** Análisis físico-químico y microbiológico de agua cruda

Parámetros	Unidades	Método Utilizado	Acuerdo Ministerial 097-Anexo VI (Tabla 9)	Resultados
<b>Características Físicas</b>				
<b>Color Real</b>	Pt-Co	Estándar Pt-Co	Inapreciable en dilución 1/20	<b>15</b>
<b>Color Aparente</b>	Pt-Co	Estándar Pt-Co	No especificado	<b>306</b>
<b>Turbiedad</b>	NTU	Nefelométrico	No especificado	<b>35,8</b>
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/L	Conductométrico	No especificado	<b>88,7</b>
<b>pH</b>	mg/L	Fotométrico	6-9	<b>7,47</b>
<b>Características Químicas</b>				
<b>Aluminio, Al+++</b>	mg/L	Aluminon	5	<b>0,103</b>

<b>Arsénico, As+++ (Total)</b>	mg/L	Arsina	0,1	<b>0</b>
<b>Cianuros, CN</b>	mg/L	Pyridine-Pyrazalone	0,1	<b>0,013</b>
<b>Cloruros</b>	mg/L	Titulación Nitrato de Plata	1000	<b>1</b>
<b>Fluoruros</b>	mg/L	Spadns Method	5	<b>0</b>
<b>Hierro, Fe+++</b>	mg/L	Ferover	10	<b>0,54</b>
<b>Manganeso, Mn++</b>	mg/L	PAN	2	<b>0,053</b>
<b>Sulfato, SO<sub>4</sub></b>	mg/L	Sulfaver 4	1000	<b>7</b>
<b>Análisis Complementarios</b>				
<b>Sólidos Totales</b>	mg/L	Standard Methods 2540 B	1600	<b>156</b>
<b>Sólidos Suspendidos</b>	mg/L	Fotométrico	130	<b>65</b>
<b>Análisis Microbiológico</b>				
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/100 ml	Tubos múltiples Indole	< 1,1	<b>&gt;23</b>

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Fuente: Anexo A

De los resultados obtenidos mediante la caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda que ingresa a la PTAP-Sucúa, se consideró como parámetro de interés la concentración de sólidos suspendidos cuyo valor obtenido fue de 65mg/L, dicha consideración fue debido a que la producción de lodos está estrechamente ligada al contenido de sólidos suspendidos en el agua.

### 3.2.2. Muestreo de lodos de sedimentadores

En la Tabla 2-3, se muestran los resultados del análisis de los parámetros físico-químico y microbiológico de los lodos provenientes de los sedimentadores.

**Tabla 2-3.** Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del sedimentador

<b>Parámetros</b>	<b>Método/Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Incertidumbre (k=2)</b>	<b>Valor límite permisible</b>
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	mg/L	1084	±6%	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	mg/L	220	±15%	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Methods No.4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,50	±0,2%	6-9

Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No.9221E/9221C	NMP/100mL	920	±20%	2000
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No.2540 D	mg/L	>5500	±11%	130
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No.4500- SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	mg/L	31	±12%	1000
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No.2540 B	mg/L	>20000	±3%	1600
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	>20	±7%	5,0

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Fuente: Anexo B

De los resultados obtenidos mediante la caracterización físico-química y microbiológica de los lodos provenientes de los sedimentadores de la PTAP-Sucúa, se tiene que, la DQO (1084mg/L) es mayor a la esperada considerando la DBO<sub>5</sub> (220mg/L), esto se debe a la gran cantidad de material inorgánico presente en la muestra, especialmente por la presencia de Aluminio (>20mg/L) utilizado como coagulante en el proceso de potabilización, adicionalmente se tiene una concentración de sólidos suspendidos >5500 mg/L, causantes de una alta turbiedad en la muestra. Como se puede observar los parámetros analizados a excepción de los Coliformes Fecales (920 NMP/100mL), exceden el límite permisible para descarga a un cuerpo de agua dulce, por lo tanto, es necesario establecer un sistema de tratamiento que mejore las características del agua de descarga.

### 3.2.3. Muestreo de lodos de filtros

En la Tabla 3-3, se muestran los resultados obtenidos en el análisis físico-químico y microbiológico de la muestra correspondiente al lodo descargado en el lavado de los filtros.

**Tabla 3-3.** Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del filtro

Parámetros	Método/Norma	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)	Valor límite permisible
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	mg/L	<30	±14%	200

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	mg/L	3	±32%	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Methods No.4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,72	±0,2%	6-9
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No.9221E/9221C	NMP/100mL	<1,8	±48%	2000
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No.2540 D	mg/L	<50	±20%	130
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No.4500- SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	mg/L	<8	±24%	1000
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No.2540 B	mg/L	120	±12%	1600
Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,6	±7%	5,0

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Fuente: Anexo C

De los resultados obtenidos mediante la caracterización físico-química y microbiológica de los lodos provenientes del lavado de los filtros de la PTAP-Sucúa, se tiene que: todos los parámetros analizados se encuentran bajo los límites permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce según la normativa ambiental vigente.

### 3.3. Cuantificación de lodos

#### 3.3.1. Lodos de sedimentadores

Para la cuantificación de los lodos generados en la unidad de sedimentación se analizaron 4 vaciados de sedimentador, el tiempo utilizado para la descarga del mismo fue de 2 minutos. La cuantificación de los lodos acumulados en el sedimentador se determinó mediante su purga al momento del lavado, repitiéndose la acción cada 15 días.

La determinación del caudal de purga del sedimentador se cuantificó mediante la determinación de la velocidad de descenso, la cual resulta de dividir la altura de vaciado del sedimentador entre el tiempo empleado para la misma. Así tenemos:



**Tabla 4-3.** Caudal promedio de purga del sedimentador

Velocidades promedio (m/s)	Área sedimentador (m <sup>2</sup> )	Caudales promedio (m <sup>3</sup> /s)
0,0049	11,58	0,0567
0,0047	11,58	0,0544
0,0048	11,58	0,0556
0,0049	11,58	0,0567
<b>Caudal promedio (m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>0,0558</b>

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Los valores descritos en la Tabla 4-3, muestran los valores de caudales de purga para el sedimentador, dichos valores oscilan entre 0,0544 m<sup>3</sup>/s y 0,0567 m<sup>3</sup>/s, dando como promedio un valor de caudal de 0,056m<sup>3</sup>/s. Si consideramos que el tiempo de vaciado del sedimentador es de 5,35 minutos (321 segundos), entonces se obtiene un volumen de 18 m<sup>3</sup> de lodos por cada sedimentador.

**Tabla 5-3.** Caudal y volumen de lodo descargado por los sedimentadores

Fuente	Caudal promedio salida (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (s)	Número de unidades	Volumen (m <sup>3</sup> )
Vaciado de sedimentadores	0,056	321	2	36

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Tabla 5-3, se puede observar el caudal y volumen total de lodo descargado por el sedimentador, como el lavado se realiza a dos sedimentadores cada 15 días, tenemos un volumen de 36 m<sup>3</sup> de lodos a tratar.

### 3.3.2. Lodos de filtros

La cuantificación del lodo acumulado en las unidades de filtración, al igual que en los sedimentadores se calculó mediante la determinación del caudal de purga.

El caudal se determinó con una regla graduada y se tomó el tiempo de vaciado, dicha operación se realizó para los 4 filtros de la Planta de Potabilización de Sucúa y nos arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 6-3.** Pruebas de velocidad de descenso para filtros

Prueba	Medida de la regleta (m)	Tiempo (s)	Velocidad de descenso (m/s)
1	1,06	164	0,0065
2	1,06	158	0,0067
3	1,06	162	0,0065
4	1,06	162	0,0065
<b>Velocidad promedio</b>			0,0066

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

**Tabla 7-3.** Caudal promedio de lavado de filtros

Velocidad promedio (m/s)	Área del filtro (m <sup>2</sup> )	Caudal promedio (m <sup>3</sup> /s)
0,0066	8,48	0,0560

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Con estos cálculos obtuvimos el caudal de lavado de los filtros, lo que nos arrojó un valor de 0,056m<sup>3</sup>/s. Si consideramos que el tiempo de lavado del filtro es de 10 minutos (660 segundos), entonces obtenemos un volumen de 36,96 m<sup>3</sup> de descarga por cada filtro.

**Tabla 8-3.** Caudal y volumen de lodo descargado por los filtros

Fuente	Caudal promedio salida (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (s)	Número de unidades	Volumen (m <sup>3</sup> )
Lavado de filtros	0,056	660	3	110,88

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Tabla 8-3 se puede observar los caudales y volúmenes de descarga de la unidad de filtración. El volumen en el lavado de filtro es 36,96 m<sup>3</sup>, pero considerando que se lavan 3 filtros en un día, se obtiene un volumen total de 110,88 m<sup>3</sup>.

### 3.4. Caracterización de los lodos

#### 3.4.1. Purgas del sedimentador

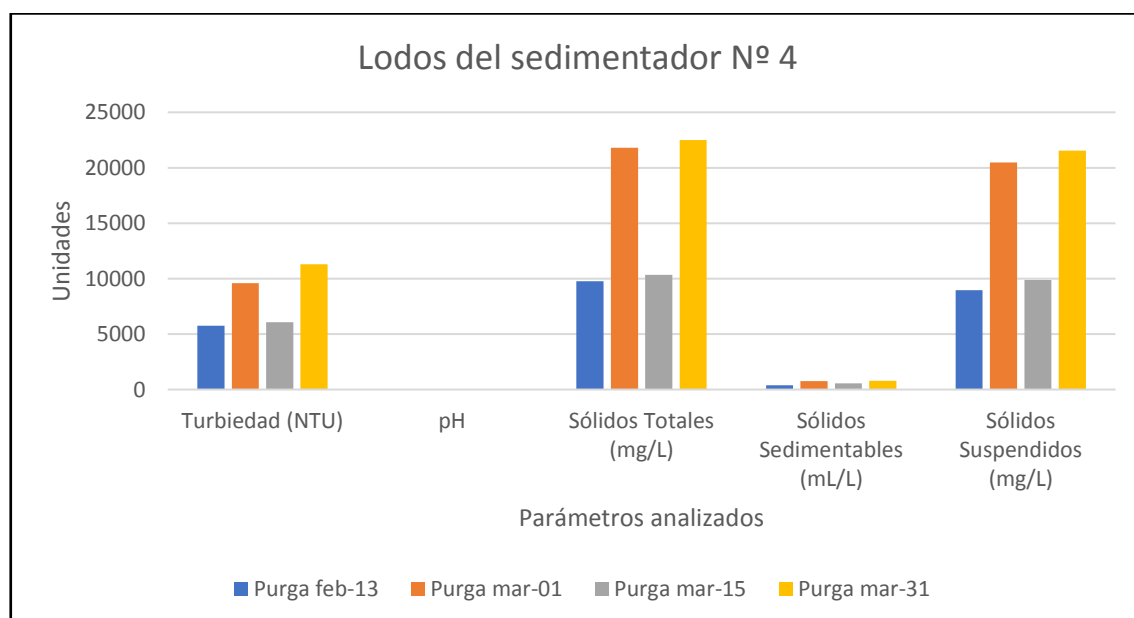
Los valores obtenidos de la determinación de sólidos totales, suspendidos y sedimentables se encuentran en la tabla 13-3.

**Tabla 9-3.** Caracterización de lodos de los sedimentadores

Prueba	Purga				
	Febrero 13	Marzo 1	Marzo 15	Marzo 31	Promedio
<b>Turbiedad (NTU)</b>	5750	9600	6065	11300	8178,75
<b>pH</b>	6,66	6,75	6,67	6,96	6,76
<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	9760	21800	10360	22500	16105
<b>Sólidos Sedimentables (mL/L)</b>	400	765	550	790	626,25
<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	8955	20480	9890	21560	15221,25
<b>% Sólidos</b>	4,26	1,92	3,47	0,87	2,63
<b>% Humedad</b>	95,74	98,08	96,53	99,13	97,37

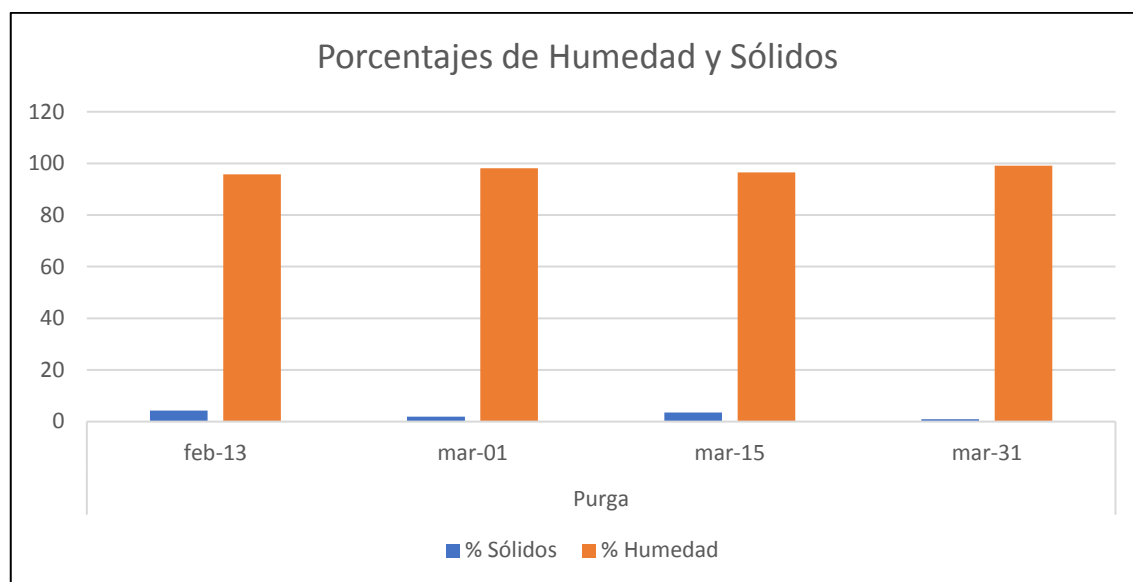
Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Tabla 9-3, se muestran los resultados de la caracterización de las muestras compuestas correspondientes a la purga del sedimentador N°4. Los rangos de turbiedades encontradas en las purgas van de 5750 a 11300 NTU, los valores de pH están entre 6,66 y 6,96. Los sólidos totales de las purgas se hallan en un intervalo que va desde 9760 a 22500 mg/L, siendo dichos valores menores al 2% de sólidos; además se puede observar que los sólidos suspendidos totales son casi el 95% de los sólidos totales.

**Figura 3-3.** Gráfico de caracterización de lodos del sedimentador N° 4

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Figura 3-3, se muestra un gráfico de barras referente a los resultados de la caracterización de los lodos provenientes de la purga de los sedimentadores; se pueden observar variaciones en el contenido de sólidos que van de 9760 a 22500 mg/L para los Sólidos Totales, 400 a 790 mL/L para los Sólidos Sedimentables y 8955 a 21560 mg/L para los Sólidos Suspendedos, esto ocurrió debido a la presencia de precipitaciones en los intervalos de tiempo entre los muestreos.



**Figura 4-3.** Grafico del contenido de humedad y sólidos del sedimentador

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Figura 4-3, se muestra un gráfico de barras referente a los resultados de la determinación de los porcentajes de humedad y sólidos presentes en las muestras compuestas de los lodos provenientes de la purga de los sedimentadores. Como se puede observar, las muestras poseen una alta cantidad de humedad con un promedio de 97,37%. El porcentaje de sólidos es de 2,63%, corroborando la teoría sobre las características de los lodos de agua potable, la cual según (Romero Rojas, 2006 pág. 288) es del 1%.

### 3.4.2. Lavado de filtros

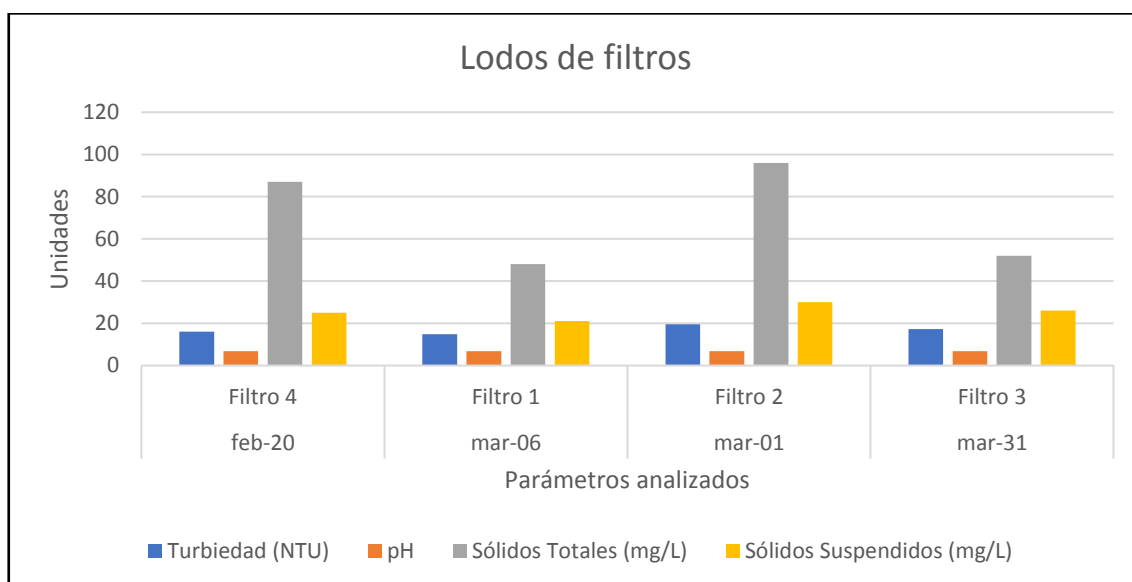
**Tabla 10-3.** Caracterización del lavado de filtros

Prueba	Filtros			
	Febrero 20 Filtro 4	Marzo 6 Filtro 1	Marzo 1 Filtro 2	Marzo 31 Filtro 3
Turbiedad (NTU)	16,1	14,9	19,6	17,3
pH	6,81	6,78	6,87	6,84

<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	87	48	96	52
<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	25	21	30	26

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Tabla 10-3, se muestran los resultados de la caracterización de las muestras compuestas correspondientes al lavado de los filtros. Los rangos de turbiedades encontradas en las muestras van de 14,9 a 19,6 NTU, los valores de pH están entre 6,78 y 6,87. Los sólidos totales de las muestras de retrolavado se hallan en un intervalo que va desde 48 a 96 mg/L, siendo dichos valores menores al 0,01% (100mg/L); además se puede observar que los sólidos suspendidos totales son casi el 40% de los sólidos totales, lo cual nos dice que este tipo de lodos presenta mayor porcentaje de sólidos disueltos. No se realizó prueba de sólidos sedimentables debido a que las muestras no contenían valores apreciables en el cono imhoff.



**Figura 5-3.** Gráfico de caracterización de lodos de los filtros

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Figura 5-3, se muestra un gráfico de barras referente a los resultados de la caracterización de los lodos provenientes del lavado de filtros; se pueden observar que las variaciones en el contenido de Sólidos Totales que va de 52 a 96 mg/L y Sólidos Suspendidos de 21 a 30 mg/L, no es significativa y para los, esto ocurrió debido a la presencia de precipitaciones en los intervalos de tiempo entre los muestreos.

### 3.5. Procesos de tratabilidad

#### 3.5.1. Prueba de sedimentación

Se realizaron 2 pruebas de con la muestra de lodos proveniente del sedimentador N°3 y N°4; se decidió recolectar de dichos sedimentadores debido a que al momento del muestreo estaban próximos a su tiempo de lavado, por lo tanto, contenían mayor cantidad de lodos que los otros dos sedimentadores.

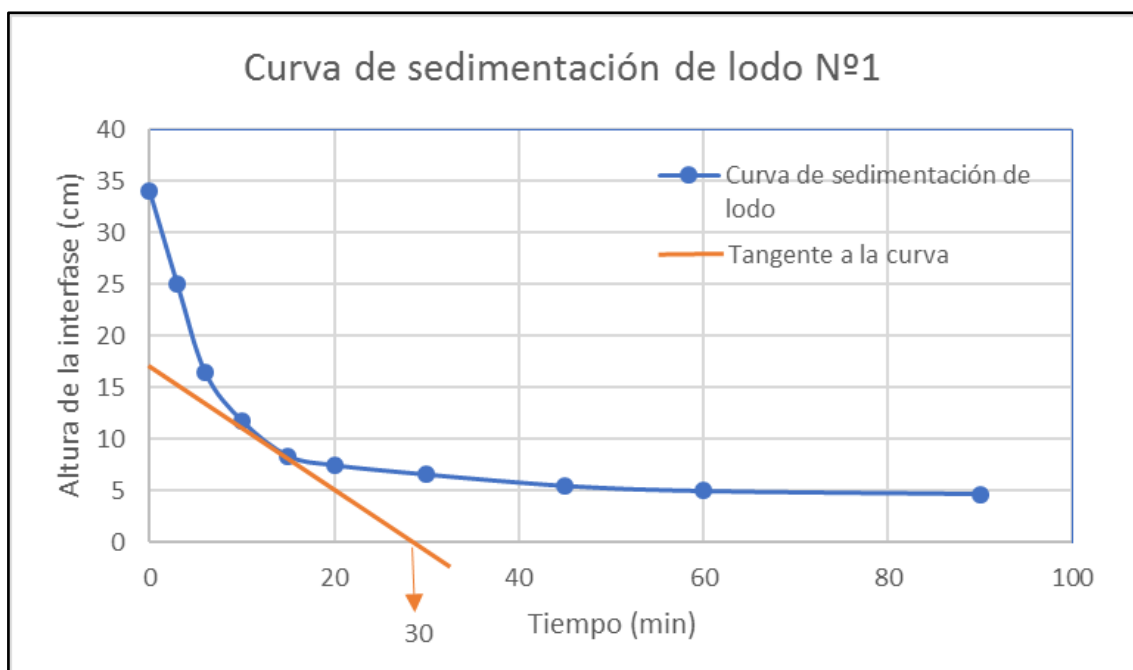
Los resultados obtenidos de las pruebas de sedimentación fueron son los siguientes:

##### a) Prueba N° 1

**Tabla 11-3.** Prueba de sedimentación N°1

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Altura de la interfase (cm)</b>
0	34
3	25
6	16,5
10	11,8
15	8,4
20	7,5
30	6,6
45	5,5
60	5
90	4,7

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017



**Figura 6-3.** Curva de sedimentación de lodo N°1

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

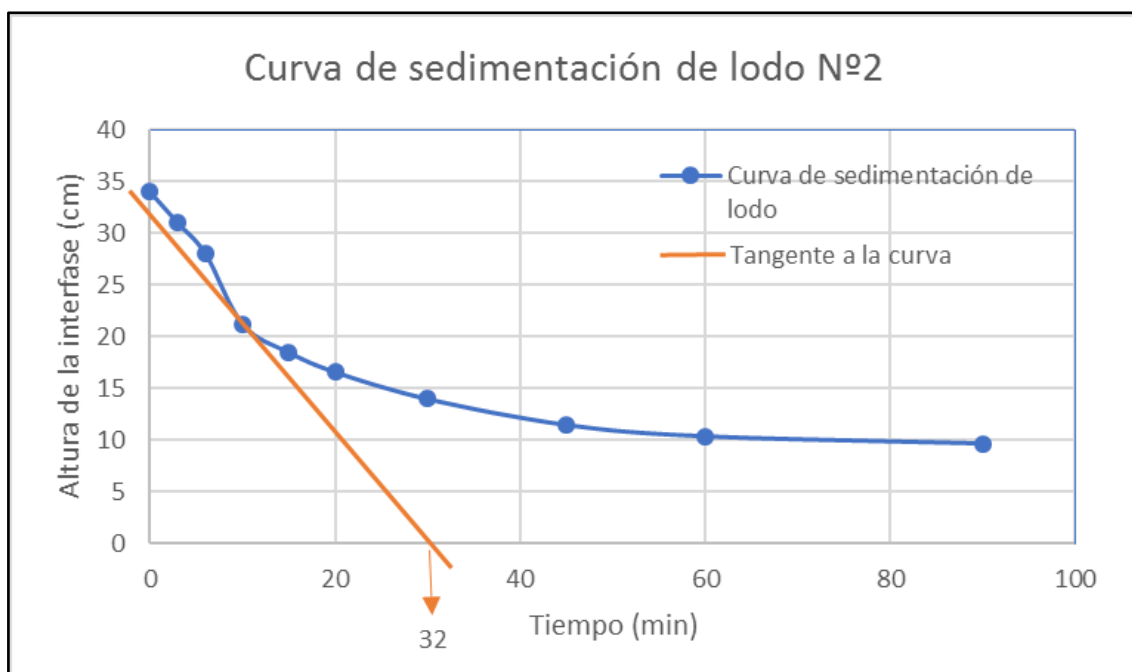
En la Figura 6-3, se muestra la curva obtenida con los datos de la prueba de sedimentación de lodos N°1, misma que al graficar la tangente al punto de compresión, nos indica el tiempo de retención de lodos cuyo valor es 30 min.

b) Prueba N° 2

**Tabla 12-3.** Prueba de sedimentación N°2

Tiempo (min)	Altura de la interfase (cm)
0	34
3	31
6	28
10	21,2
15	18,5
20	16,6
30	14
45	11,5
60	10,4
90	9,7

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017



**Figura 7-3.** Curva de sedimentación de lodo N°2

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

La Figura 7-3, muestra la curva obtenida con los datos de la prueba de sedimentación de lodos N°2, misma que al graficar la tangente al punto de compresión, nos indica el tiempo de retención de lodos cuyo valor es 32 min.

Con las pruebas de sedimentación realizadas a los lodos provenientes de los sedimentador N°3 y N°4 de la Planta de Potabilización de Sucúa, se halló el tiempo de sedimentación promedio el cual tiene un valor de 31 minutos.

### 3.5.2. Determinación del porcentaje de humedad

Se realizaron 4 pruebas para la determinación del porcentaje de humedad, las muestras se obtuvieron de cada sedimentador de la planta de tratamiento y se dejaron sedimentar por un tiempo de 2 horas; los resultados se muestran en la Tabla 13-3.

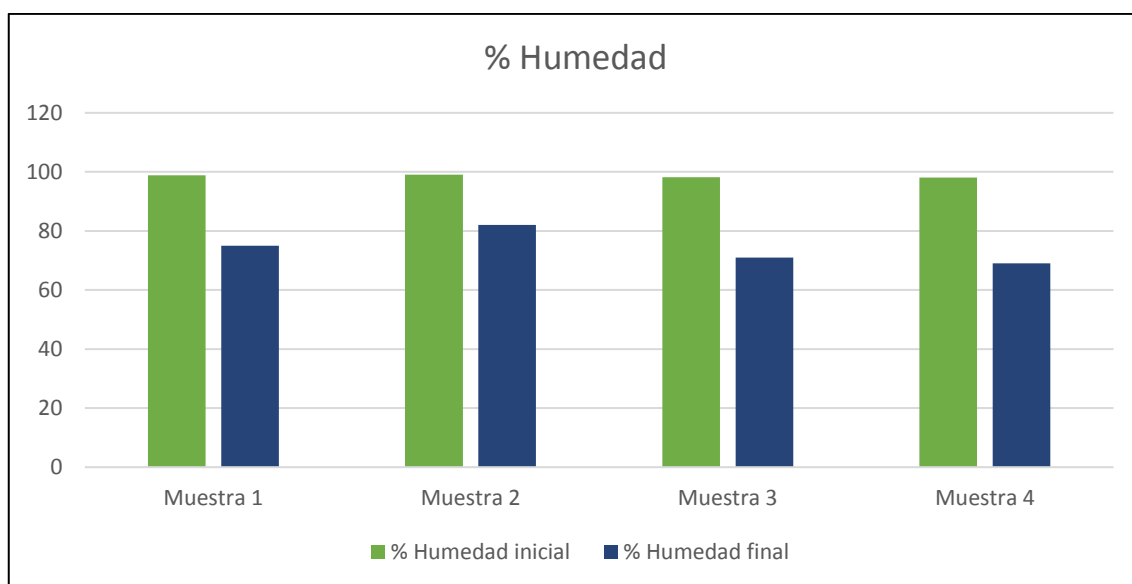
**Tabla 13-3.** Resultados de la determinación del porcentaje de humedad

Prueba	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
% Humedad inicial	98,83	99,01	98,19	98,09	98,53
Peso del crisol (g)	27,79	27,80	26,85	30,84	



<b>Peso del crisol + lodo húmedo (g)</b>	29,63	28,97	27,89	32,4	
<b>Peso del crisol + lodo seco (g)</b>	28,25	28,01	27,15	31,32	
<b>P<sub>1</sub> lodo húmedo (g)</b>	1,84	1,17	1,04	1,56	
<b>P<sub>2</sub> lodo seco (g)</b>	0,46	0,21	0,30	0,48	
<b>% Humedad final</b>	75	82	71	69	74,25

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017



**Figura 8-3.** Gráfico del porcentaje de humedad en las muestras sedimentadas

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Como se puede observar en la Figura 8-3, el porcentaje de humedad inicial y final de los lodos de las muestras analizadas presenta una variación, esto es debido a la separación sólido-líquido realizada en la sedimentación que antecede al análisis de la misma; la cual logra una reducción del 24% de humedad.

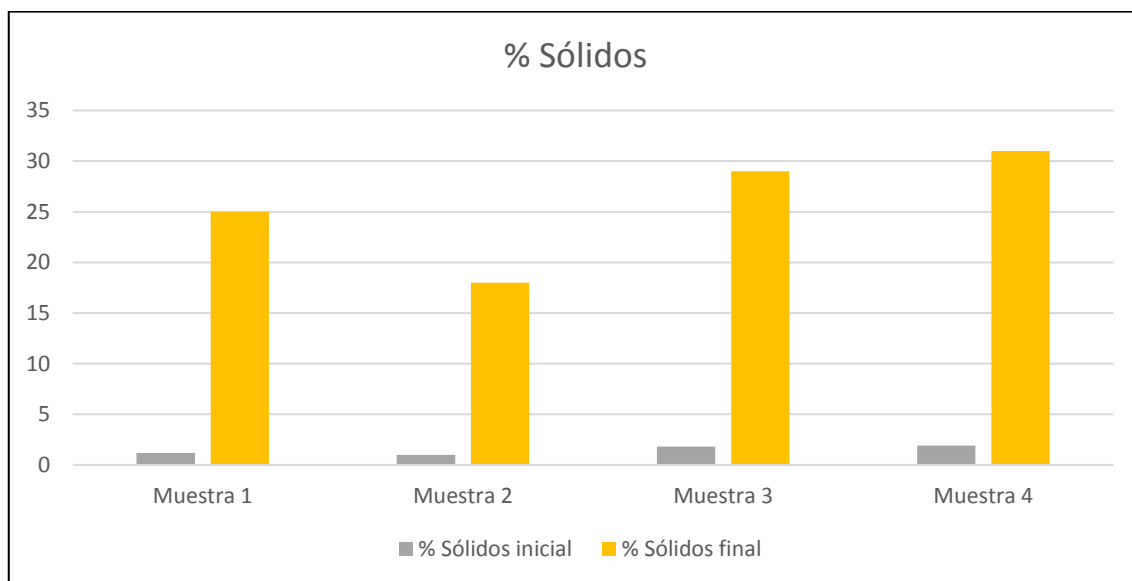
### 3.5.3. Determinación del porcentaje de sólidos

**Tabla 14-3.** Resultados de la determinación del porcentaje de sólidos

<b>Prueba</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Promedio</b>
<b>% Sólidos inicial</b>	1,17	0,99	1,82	1,91	1,47

<b>P<sub>1</sub> lodo húmedo (g)</b>	1,84	1,17	1,04	1,56	
<b>P<sub>2</sub> lodo seco (g)</b>	0,46	0,21	0,30	0,48	
<b>% Sólidos final</b>	25	18	29	31	25,75

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017



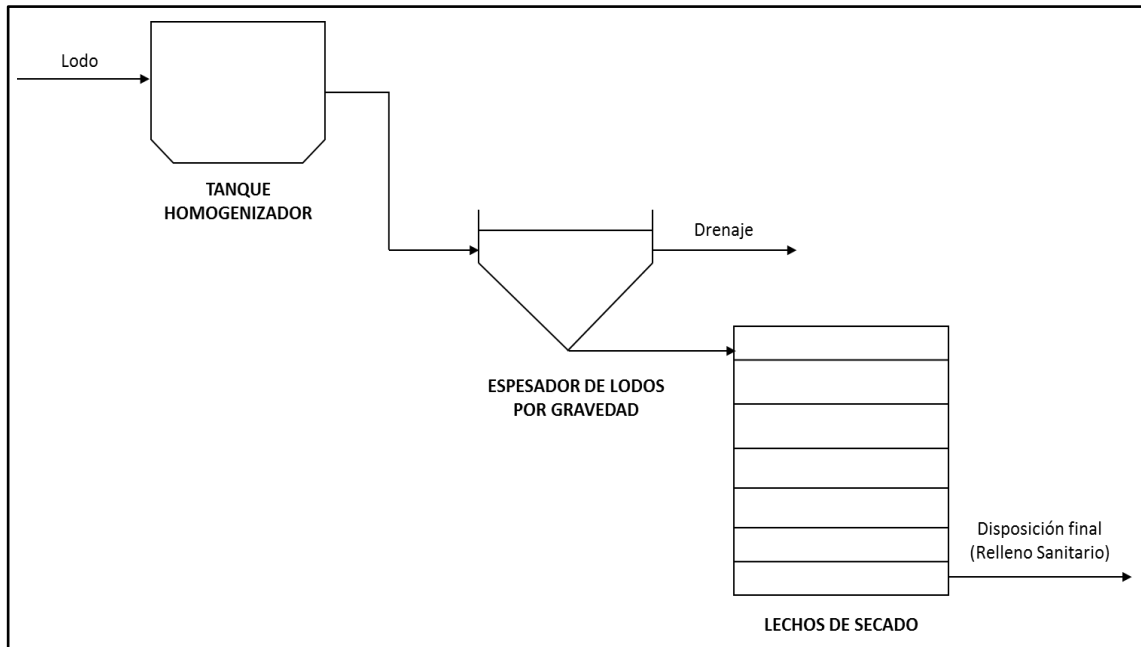
**Figura 9-3.** Gráfico del porcentaje de sólidos de las muestras sedimentadas

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

Como se puede observar en la Figura 9-3, el porcentaje de sólidos inicial y final de los lodos de las muestras analizadas presenta una variación, esto es debido a la separación sólido-líquido realizada en la sedimentación que antecede al análisis de la misma; la cual logra un incremento en la concentración de sólidos del 24%.

### 3.6. Propuesta de tratamiento

#### 3.6.1. Diagrama de flujo del proceso



**Figura 10-3.** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de lodos

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la Figura 10-3, se muestra el diagrama del sistema de tratamiento de lodos propuesto para la Planta de Potabilización de Sucúa ubicada en la vía a Tambache; el tren de tratamiento está compuesto por un tanque homogenizador con capacidad para receptor el volumen del lodo contenido en dos sedimentadores, además de receptor el caudal descargado por los sedimentadores, servirá para igualar y mantener constante el caudal que va a ser enviado a la siguiente unidad; su operación se realizará por bacheo, es decir, el tanque se llenará completamente y operará 4 días, en dicho tiempo se descargará un caudal de  $9 \text{ m}^3/\text{d}$  hacia el espesador de lodos por gravedad, el cual por parámetros de diseño tendrá un tiempo de retención hidráulico de 2 horas, tiempo en el cual se separarán los lodos del clarificado, este último se enviará al drenaje y el lodo espesado continuará el tratamiento hacia los lechos de secado donde permanecerán antes de su extracción y disposición final en el relleno sanitario de la ciudad de Sucúa.

### 3.6.2. Diseño del proceso de tratamiento de lodos

### 3.6.3. Datos de diseño

**Tabla 15-3.** Volumen de lodo a tratar

Unidad	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Sólidos (%)
Sedimentador	36	74	25

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

En la tabla 13-3, se puede observar el volumen a tratar, mismo que pertenece a la descarga del lavado de las unidades de sedimentación; lo que nos da un volumen total de tratamiento igual a 36 m<sup>3</sup> cada quince días o un caudal de 2,4 m<sup>3</sup>/d con un porcentaje de humedad del 74% y 25% de sólidos.

### 3.6.4. Cálculos

#### 3.6.4.1. Tanque Homogenizador

##### a) Cálculo del volumen del tanque homogenizador

El tanque homogenizador presentará una forma cúbica. El tiempo de residencia será de 4 días para un caudal de 9 m<sup>3</sup>/d.

Para el cálculo del volumen del tanque homogenizador se empleó la Ecuación 3-2:

Datos:

$$Q = 9 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Trh = 4 \text{ d}$$

Con los datos anteriores tenemos:

$$V = Trh * Q$$

$$V = 4 \text{ d} \times 9 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V = 36 \text{ m}^3$$

b) Cálculo de las dimensiones del tanque homogenizador

Las dimensiones del tanque homogenizador propuesto se calcularon con la Ecuación 4-2:

Datos:

$$V = 36 \text{ m}^3$$

Así tenemos:

$$V = h \times L_1^2$$

$$36 \text{ m}^3 = 2,25 \text{ m} \times L^2$$

$$L = 4 \text{ m}$$

Se considera una altura de seguridad de 0,5 m por lo que la altura h es igual a 2,75 m.

3.6.4.2. *Espesador de lodos por gravedad*

a) Cálculo del área superficial ( $As_1$ )

Para el cálculo del área superficial del espesador de lodos por gravedad se empleó la Ecuación 5-2.

Datos:

$$Q_d = 9 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$SS = 21560 \text{ mg/L} = 21,56 \text{ Kg/m}^3$$

Obtenidos del cálculo para el tanque homogenizador detallado en el literal 3.6.4.1 y de la caracterización de lodos del sedimentador detallada en la tabla 9-3, del literal 3.4.1.

Parámetros de diseño

$$C_{ss1} = 90 \text{ kg/m}^2\text{d}$$

Valor detallado en la Tabla 3-2. Con estos datos tenemos:

$$As_1 = \frac{Q_d * SS}{C_{ss1}}$$

$$As_1 = \frac{9 \text{ m}^3/\text{d} \times 21,56 \text{ kg}/\text{m}^3}{90 \text{ kg}/\text{m}^2\text{d}}$$

$$As_1 = 2,16 \text{ m}^2$$

b) Cálculo del diámetro del cilindro (D)

El dimensionamiento del diámetro del espesador de lodos por gravedad se calculó con la Ecuación 6-2.

Datos:

$$As_1 = 2,16 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times As_1}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 2,16 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 1,66 \text{ m}$$

c) Cálculo del volumen del cilindro (Vc)

Para calcular el volumen del espesador de lodos por gravedad se empleó la Ecuación 7-2.

Datos:

$$Q_d = 9 \text{ m}^3/\text{d}$$

Parámetros de diseño:

$$Trh_1 = 2 \text{ h} = 0,083 \text{ d}$$

Valor detallado en la Tabla 3-2. Con estos datos tenemos:

$$V = Qd \times Trh_1$$

$$V = 9 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,083 \text{ d}$$

$$V = 0,747 \text{ m}^3$$

d) Cálculo de la altura del cilindro ( $H_1$ )

Se calculó empleando la Ecuación 8-2.

Datos:

$$V = 0,747 \text{ m}^3$$

$$As_1 = 2,16 \text{ m}^2$$

Así obtenemos:

$$H_1 = \frac{V}{As_1}$$

$$H_1 = \frac{0,747 \text{ m}^3}{2,16 \text{ m}^2}$$

$$H_1 = 0,35 \text{ m}$$

e) Cálculo de la altura del cono ( $H_2$ )

Para calcular la altura del cono del espesador de lodos por gravedad se empleó la Ecuación 9-2.

Datos:

$$D = 1,66 \text{ m}$$

Parámetros de diseño

$$\alpha = 20^\circ$$

Valor detallado en la Tabla 3-2. Con estos datos tenemos:

$$H_2 = \tan \alpha \times \frac{D}{2}$$

$$H_2 = \tan 20^\circ \times \frac{1,66 \text{ m}}{2}$$

$$H_2 = 0,30 \text{ m}$$

f) Cálculo de la fosa de lodos ( $H_3$ )

Se determinó mediante la Ecuación 10-2.

Datos:

$$H_1 = 0,35 \text{ m}$$

$$H_2 = 0,30 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$H_{s1} = 1 \text{ m}$$

$$R_{e/f} = 20\% = 0,2$$

Valores detallados en la Tabla 3-2, con estos datos tenemos:

$$H_3 = (H_1 + H_2 + H_{s1}) \times R_{e/f}$$

$$H_3 = (0,35 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 0,2$$

$$H_3 = 0,33 \text{ m}$$

g) Cálculo de la altura total del espesador ( $H_t$ )

La altura total del espesador de lodos por gravedad se terminó empleando la Ecuación 11-2.

Datos:

$$H_1 = 0,35 \text{ m}$$

$$H_2 = 0,30 \text{ m}$$

$$H_3 = 0,33 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$H_{s1} = 0,5 \text{ m}$$



Valor detallado en la Tabla 3-2.; así tenemos:

$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 + H_{s1}$$

$$H_t = 0,35 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 0,33 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$H_t = 1,48 \text{ m}$$

h) Cálculo del diámetro de la fosa de lodos ( $D_f$ )

Se calculó geométricamente empleando la Ecuación 12-2.

Datos:

$$D = 1,66 \text{ m}$$

Tenemos:

$$D_f = 0,2 \times D$$

$$D_f = 0,2 \times 1,66 \text{ m}$$

$$D_f = 0,33 \text{ m}$$

i) Cálculo del radio del cono ( $R_c$ )

Se obtuvo mediante la aplicación de la Ecuación 13-2.

Datos:

$$D = 1,66 \text{ m}$$

$$H_2 = 0,30 \text{ m}$$

Con estos datos obtenemos lo siguiente:

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 \times (H_2)^2}$$

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{1,66 \text{ m}}{2}\right)^2 \times (0,30 \text{ m})^2}$$

$$R_c = 0,25 \text{ m}$$

j) Cálculo del área del cono ( $A_c$ )

Se calculó geoméricamente mediante la aplicación de la Ecuación 14-2.

Datos:

$$D = 1,66 \text{ m}$$

$$R_c = 0,25 \text{ m}$$

Así obtenemos:

$$A_c = \pi \times \frac{D}{2} \times R_c$$

$$A_c = \pi \times \left(\frac{1,66 \text{ m}}{2}\right) \times 0,25 \text{ m}$$

$$A_c = 0,65 \text{ m}$$

k) Cálculo de la longitud de rasqueta unitaria ( $L_{ru}$ )

Se determinó empleando la Ecuación 15-2.

Datos:

$$H_t = 1,48 \text{ m}$$

Entonces tenemos:

$$L_{ru} = 0,1 \times H_t$$

$$L_{ru} = 0,1 \times 1,48 \text{ m}$$

$$L_{ru} = 0,15 \text{ m}$$

l) Cálculo de la longitud de rasqueta total ( $L_{tr}$ )

La longitud de total de la rasqueta se obtuvo con la Ecuación 16-2.

Datos:

$$L_{ru} = 0,15 \text{ m}$$

Parámetros de diseño

$$N_r = 2$$

Valor detallado en la Tabla 3-2.; así tenemos:

$$L_{tr} = L_{ru} \times N_r$$

$$L_{tr} = 0,15 \text{ m} \times 2$$

$$L_{tr} = 0,30 \text{ m}$$

m) Cálculo de la base de rasqueta unitaria ( $B_{ru}$ )

Para el cálculo de la base de la rasqueta unitaria del espesador de lodos por gravedad se empleó la Ecuación 17-2.

Datos:

$$A_c = 0,65 \text{ m}$$

$$L_{tr} = 0,30 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$R_{r/c} = 10\% = 0,1$$

Valor detallado en la Tabla 3-2.

Con los datos anteriores, tenemos:

$$Bru = \frac{R_{r/c} \times A_c}{Ltr}$$

$$Bru = \frac{0,1 \times 0,65 \text{ m}}{0,30 \text{ m}}$$

$$Bru = 0,22 \text{ m}$$

#### 3.6.4.3. Lechos de secado

a) Cálculo del volumen de lodo a secar (Vls)

Se obtuvo con la aplicación de la Ecuación 18-2.

Datos:

$$Vl = 36 \text{ m}^3$$

$$\%H = 74\% = 0,74$$

$$\%s = 25\% = 0,25$$

Así obtenemos:

$$V_{ls} = Q_d \times \%H \times \%s$$

$$V_{ls} = 36 \text{ m}^3 \times 0,74 \times 0,25$$

$$V_{ls} = 6,66 \text{ m}^3$$

b) Cálculo del área superficial de la era (As<sub>2</sub>)

Para el cálculo del área superficial de la era de secado se utilizó la Ecuación 19-2.

Datos:

$$V_{ls} = 6,66 \text{ m}^3$$

Parámetros de diseño:

$$h_1 = 0,15 \text{ m}$$

Valor detallado en la Tabla 4-2, así obtenemos:

$$As_2 = \frac{V_{ls}}{h_1}$$

$$As_2 = \frac{6,66 \text{ m}^3}{0,15 \text{ m}}$$

$$As_2 = 44,40 \text{ m}^2$$

c) Cálculo de la longitud de la era ( $L_2$ )

Se calculó geométricamente con la Ecuación 20-2.

Datos:

$$As_2 = 44,40 \text{ m}^2$$

Parámetros de diseño:

$$B = 3,5 \text{ m}$$

Valor detallado en la Tabla 4-2.

Con los datos anteriormente detallados tenemos:

$$L_2 = \frac{As_2}{B}$$

$$L_2 = \frac{44,40 \text{ m}^2}{3,5 \text{ m}}$$

$$L_2 = 12,69 \text{ m}$$

d) Cálculo de la altura de inclinación en longitud ( $h_2$ )

La altura de inclinación en longitud para la era de secado se calculó utilizando la Ecuación 21-2.

Datos:

$$L_2 = 12,69 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$\Theta_L = 2,7^\circ$$

Valor detallado en la Tabla 4-2; con estos datos tenemos lo siguiente:

$$h_2 = \tan \theta_L \times L_2$$

$$h_2 = \tan 2,7^\circ \times 12,69 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,60 \text{ m}$$

e) Cálculo de la altura de inclinación en amplitud ( $h_7$ )

La altura de inclinación en amplitud para la era de secado se calculó utilizando la Ecuación 22-2.

Datos:

$$B = 3,5 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$\Theta_A = 4^\circ$$

Valor detallado en la Tabla 4-2; con estos datos tenemos lo siguiente:

$$h_7 = \tan \theta_A \times B$$

$$h_7 = \tan 4^\circ \times 3,5 \text{ m}$$

$$h_7 = 0,24 \text{ m}$$

f) Cálculo de la altura total de la era ( $h_t$ )

La altura total de la era de secado se calculó geoméricamente utilizando la Ecuación 23-2.

Datos:

$$h_2 = 0,36 \text{ m}$$

$$h_7 = 0,24 \text{ m}$$

Parámetros de diseño:

$$h_1 = 0,15 \text{ m}$$

$$h_3 = 0,15 \text{ m}$$

$$h_4 = 0,15 \text{ m}$$

$$h_5 = 0,15 \text{ m}$$

$$h_6 = 0,15 \text{ m}$$

$$h_s = 0,50 \text{ m}$$

Valores detallados en Tabla 4-2.

Con los datos anteriores tenemos lo siguiente:

$$h_t = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_s$$

$$h_t = 0,15 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,24 \text{ m} + 0,50 \text{ m}$$

$$h_t = 2,09 \text{ m}$$

### 3.6.5. Resumen de dimensiones

#### 3.6.5.1. Tanque homogenizador

**Tabla 16-4.** Dimensiones del tanque homogenizador

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
1. Volumen	m <sup>3</sup>	36
2. Altura	m	2,75
3. Largo	m	4
4. Ancho	m	4

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

### 3.6.5.2. Espesador de lodos por gravedad

**Tabla 17-4.** Dimensiones del espesador de lodos por gravedad

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
1. Área superficial del espesador	m <sup>2</sup>	2,16
2. Diámetro del cilindro	m	1,66
3. Volumen del cilindro	m <sup>3</sup>	0,747
4. Altura del cilindro	m	0,35
5. Altura del cono	m	0,30
6. Altura de la fosa de lodos	m	0,33
7. Altura total del espesador	m	1,48
8. Diámetro de fosa de lodos	m	0,33
9. Radio del cono	m	0,25
10. Área del cono	m <sup>2</sup>	0,65
11. Longitud de rasqueta unitaria	m	0,15
12. Longitud de rasqueta total	m	0,30
13. Base de rasqueta unitaria	m	0,22

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

### 3.6.5.3. Lechos de secado

**Tabla 18-4.** Dimensiones de los lechos de secado

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
1. Volumen de lodo a secar	m <sup>3</sup>	6,66
2. Área superficial de la era	m <sup>2</sup>	44,40
3. Longitud de la era	m	12,69
4. Ancho de la era	m	3,50
5. Altura en inclinación en longitud	m	0,60
6. Altura en inclinación en amplitud	m	0,24
7. Altura total de la era	m	2,09

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017



## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización de los lodos generados en la Planta de Potabilización de la EPMAPA-Sucúa, en base a análisis físico-químicos y microbiológicos, para ello se recolectaron muestras de las fuentes generadoras, los resultados obtenidos fueron: DQO (1084mg/L), DBO<sub>5</sub> (220mg/L), Aluminio (>20mg/L), Sólidos Suspendidos (>5500mg/L), Sólidos Totales (>20000mg/L) y Coliformes Fecales (920 NMP/100mL) para el sedimentador y DQO (<30mg/L), DBO<sub>5</sub> (3mg/L), Aluminio (0,6mg/L), Sólidos Suspendidos (<50mg/L), Sólidos Totales (120mg/L) y Coliformes Fecales (<1,8NMP/100mL), estos resultados nos llevaron a determinar que el lodo de los sedimentadores es el que se debe someter a tratamiento debido a que sus características se encuentran fuera de los límites permisibles para la descarga directa.
- Las pruebas de tratabilidad realizadas fueron las de sedimentación de las cuales se obtuvo un tiempo de retención de 31min. No se creyó conveniente la realización de pruebas de jarras para la adición de ayudantes de floculación debido a que en el proceso de tratamiento del agua se adiciona polímero catiónico al 0,07% el cual es suficiente para la sedimentación de las partículas sólidas. Adicionalmente, se realizaron pruebas de determinación de humedad, las cuales nos dieron un resultado del 24% de reducción del porcentaje de humedad en los lodos de las muestras de los sedimentadores.
- Se diseñó el sistema para el tratamiento de los lodos proveniente del lavado de los sedimentadores de la PTAP-Sucúa, el cual consta de un tanque homogenizador con capacidad de 36 m<sup>3</sup>, un espesador de lodos por gravedad diseñado para operar con un caudal de 9m<sup>3</sup>/d y dos eras de secado para deshidratar el lodo en 13 días.
- Se estableció a las eras de secado como sistema para la concentración de los lodos, considerando que en los análisis de agua cruda y de lodos no se encontró metales pesados que requieran un encapsulamiento antes de su disposición en el relleno sanitario, además de que su empleo es económicamente más factible.

## RECOMENDACIONES

- Realizar los estudios necesarios para una posible recuperación del aluminio presente en los lodos.
- Construir una curva para la dosificación de insumos químicos (sulfato de aluminio y polímero) utilizados en el tratamiento del agua en la PTAP de Sucúa, de manera que se pueda optimizar su uso.
- Implementar un sistema para la dosificación de insumos químicos en el agua potable, ya que el sistema actual no permite conocer exactamente la concentración de coagulantes y floculantes que se adicionan.
- Realizar análisis físico-químicos al agua del clarificado obtenido del espesador de lodos por gravedad y eras de secado para verificar sus características de descarga.
- Efectuar un estudio de factibilidad para el uso de los lodos en la fabricación de bloques, ladrillos, tejas, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

**APHA, AWWA, WPCF.** *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª ed. Madrid-España: Diaz de Santos S.A, 1992. ISBN 978-84-7978-031-9, pp. 80-87.

**CABEZA YANEZ, Lucia Yolanda.** Diseño de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de EPMAPA-Santo Domingo. [en línea] (trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2011. pp. 46-51. [Consulta: 2017-02-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1656/1/96T00142.pdf>.

**CÁNEPA, Lidia.** *Tratamiento de agua para consumo humano*. [En línea]. Lima-Perú: CEPIS/OPS, 2004. [Consulta: 30 Mayo 2017]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoI/ma1\\_tomo1\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/tomoI/ma1_tomo1_cap3.pdf).

**CO 10.07-601.** *Norma para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.

**ECUADOR. Asamblea Nacional Constituyente.** *Constitución de la República del Ecuador*. 2ª ed. Quito-Ecuador: Lexis, 2008, pp. 19-20.

**ECUADOR. Asamblea Nacional Constituyente.** *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. 2ª ed. Quito-Ecuador: Lexis, 2014, pp. 18-19.

**ECUADOR. Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos.** *Código Orgánico Integral Penal*. 2ª ed. Quito-Ecuador: Lexis, 2014, pág. 100.

**MALDONADO YACTAYO, Víctor.** *Tratamiento de agua para consumo humano: Tomo II*. Lima-Perú: CEPIS/OPS, 2004, p. 83.

**METCALF & EDDY.** *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Vol. I y II. 3ª ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 1996. ISBN 84-481-1612-7, pp. 660-987.

**Ministerio del Ambiente Ecuador.** *Acuerdo Ministerial 097A: Anexo 1 de Libro VI*. Quito-Ecuador: Lexis, 2015, pp. 21-22.

**MÉXICO. Comisión Nacional del Agua.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. [en línea]. Tlalpan-México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007. [Consulta: 25 Mayo 2017.] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/24GuiaParaElManejoEstabilizacionyDisposicionDeLodosQuimicos.pdf>.

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.** *Tratamiento de agua para consumo humano. Tomo I*. Lima-Perú: CEPIS/OPS, 2004. pp. 110-265.

**PÉREZ JINEZ, Jean Pierre, & ZUMBANA LÓPEZ, Edison Damián.** Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de lodos residuales de una PTAR a escala de laboratorio en la Facultad de Ciencias-ESPOCH, 2015. [en línea] (trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2016. pp. 22-39. [Consulta: 2017-02-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4911/1/236T0190.pdf>.


**RAMALHO, Rubens Sette.** *Tratamiento de Aguas Residuales*. Sevilla-España : Reverté, 2003. ISBN: 84-291-7975-5, pp. 127-130.

**RAMÍREZ QUIRÓS, F.** "Lodos producidos en el tratamiento del agua potable". *Técnica Industrial* [en línea], 2008, (España) 2008 (275), pp. 46-52. [Consulta: 2017-02-25]. ISSN 0040-1838. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/AVA\\_II-SEM-2014/Unidad\\_2/2008\\_Ramirez\\_Francisco.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/AVA_II-SEM-2014/Unidad_2/2008_Ramirez_Francisco.pdf).

**ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** *Potabilización del Agua*. 3ª ed. México D.F-México: Alfaomega, 2006, pp. 290-300.

## ANEXOS

### ANEXO A Análisis físico-químico y microbiológico de agua cruda



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA  
POTABLE Y ALCANTARILLADO - SUCÚA

**EPMAPA-S**

SUCÚA-MORONA SANTIAGO

### INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

DATOS DEL CLIENTE	DATOS GENERALES
<b>CLIENTE:</b> Diana Macera Veintimilla <b>DIRECCIÓN:</b> Macas <b>PERSONA DE CONTACTO:</b> Diana Macera Veintimilla <b>TELÉFONO DE CONTACTO:</b> 0980381517 <b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:</b> Planta de Potabilización de Sucúa <b>LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:</b> Vertedero Agua Cruda <b>RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:</b> Diana Macera Veintimilla <b>FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:</b> 31-Enero-2017 ; 09:00	<b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b> LCC-001 <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Cruda <b>RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:</b> Diana Macera Veintimilla <b>FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:</b> 31-Enero-2017 ; 09:10 <b>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:</b> 31-ene-17 <b>FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:</b> 06-feb-17 <b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Humedad (%):</span> <span>21.7°C</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Temperatura (°C):</span> <span></span> </div>

### ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Acuerdo Ministerial 097A (Tabla 9)	RESULTADOS
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>				
<b>Color Real</b>	Pt-Co	Estándar Pt-Co	Inapreciable en dilución 1/20	<b>15</b>
<b>Color Aparente</b>	Pt-Co	Estándar Pt-Co	No especificado	<b>306</b>
<b>Turbiedad</b>	NTU	Nefelométrico	No especificado	<b>35,8</b>
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	mg/L	Conductométrico	No especificado	<b>88,7</b>
<b>pH</b>	mg/L	Fotométrico	6-9	<b>7,47</b>
<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>				
<b>Aluminio, Al+++</b>	mg/L	Aluminon	5	<b>0,103</b>
<b>Arsénico, As+++ (Total)</b>	mg/L	Arsina	0,1	<b>0</b>
<b>Cianuros, CN</b>	mg/L	Pyridine-Pyrazalone	0,1	<b>0,013</b>
<b>Cloruros</b>	mg/L	Titulación Nitrato de Plata	1000	<b>1</b>
<b>Fluoruros</b>	mg/L	Spadns Method	5	<b>0</b>
<b>Hierro, Fe+++</b>	mg/L	Ferover	10	<b>0,54</b>



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA  
POTABLE Y ALCANTARILLADO - SUCÚA

**EPMAPA-S**

SUCÚA MORONA SANTIAGO



Manganeso, Mn <sup>++</sup>	mg/L	PAN	2	0,053
Sulfato, SO <sub>4</sub>	mg/L	Sulfaver 4	1000	7
<b>ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS</b>				
Sólidos Totales	mg/L	Digestión con Reactor	1600	156
Sólidos Suspendidos	mg/L	Fotométrico	130	65
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</b>				
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Tubos múltiples Indole	< 1,1	>23

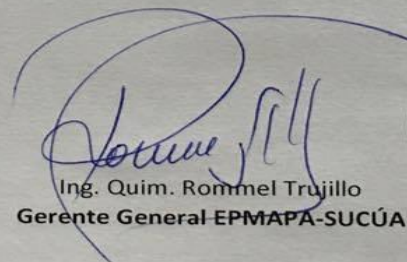
NOTA: LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS, QUE EN SU MAYORÍA SE REALIZAN EN EL COLORÍMETRO HACH DR/890, SON COMPARADOS CON LA TABLA 9 del ANEXO VI ACUERDO MINISTERIAL 097A.

\* La muestra fue receptada en el laboratorio de la EPMAPA-S aprox. a las 09:10 del 31 de enero de 2017.

\* La procedencia de la muestra se indica según la información proporcionada por el solicitante del análisis, quién es el responsable del muestreo y su legitimidad, para los fines que considere pertinente.

\* La EPMAPA-S no se responsabiliza de la utilización de estos resultados en caso de que la información proporcionada sea falsa.

**PROFESIONAL RESPONSABLE:**

  
Ing. Quím. Rommel Trujillo  
Gerente General EPMAPA-SUCÚA





## ANEXO B Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del sedimentador

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de <b>Acreditación</b> Ecuatoriano</p> <p><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	--

**INFORME DE ENSAYO No:** A-237-17  
**ST:** 118-17 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** NA  
**Atn.** Diana Macera Veintimilla  
**Dirección:** Barrio Amazonas  
Macas - Morona Santiago

**FECHA:** 12 de Abril del 2017  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2017/03/31 - 16:13  
**FECHA DE MUESTREO:** 2017/03/31 - 06:08  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2017/03/31 - 2017/04/12  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO CESTTA:** LAB-A 237-17  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** Muestra 1  
**PUNTO DE MUESTREO:** Tubería de descarga  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico - Químico - Microbiológico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Diana Macera  
**CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:** T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

### RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	1084	±6%	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	220	±15%	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,50	±0,2	6-9
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221E/ 9221C	NMP/100 mL	920	±20%	2000
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	>5500	±11%	130
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	mg/L	31	±12%	1000
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	>20000	±3%	1600

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados

MC01-14

Página 1 de 2  
Edición 0



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



Servicio de  
**Acreditación**  
Ecuatoriano

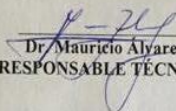
**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008  
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	>20	±7%	5,0
----------	---	------	-----	-----	-----

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde al Límite máximo permitido en la Tabla 9 del Tulsma: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Libro VI. Anexo I. Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**





# ANEXO C Análisis físico-químico y microbiológico de la muestra de lodo del filtro

	<p align="center"><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p align="center"><b>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</b></p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p><b>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008 LABORATORIO DE ENSAYOS</b></p>
---	---	---

<b>INFORME DE ENSAYO No:</b>	A-238-17
<b>ST:</b>	118-17 ANÁLISIS DE AGUAS
<b>Nombre Peticionario:</b>	NA
<b>Atn.</b>	Diana Macera Veintimilla
<b>Dirección:</b>	Barrio Amazonas Macas - Morona Santiago
<b>FECHA:</b>	12 de Abril del 2017
<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	1
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b>	2017/03/31 - 16:13
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2017/03/31 - 06:20
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	2017/03/31 - 2017/04/12
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual
<b>CÓDIGO CESTTA:</b>	LAB-A 238-17
<b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b>	Muestra 2
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	Tubería de descarga
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b>	Físico - Químico - Microbiológico
<b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b>	Diana Macera
<b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b>	T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

## RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Demanda Química de Oxígeno	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	<30	±14%	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B	mg/L	3	±32%	100
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,72	±0,2	6-9
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221E/ 9221C	NMP/100 mL	<1,8	±48%	2000
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	<50	±20%	130
Sulfatos	PEE/CESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	mg/L	<8	±24%	1000
Sólidos Totales	PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	120	±12%	1600



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y  
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA  
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :  
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)  
RIOBAMBA - ECUADOR  
Telefax: (03) 3013183



Servicio de  
**Acreditación**  
Ecuatoriano


**Acreditación N° OAE LE 2C 06-008  
LABORATORIO DE ENSAYOS**

Aluminio	PEE/CESTTA/174 EPA 200.7 ICP-AES Rev 4.4 1994	mg/L	0,60	±7%	5,0
----------	---	------	------	-----	-----

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros marcados con (\*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.
- La columna marcada con (■) corresponde al Límite máximo permitido en la Tabla 9 del Tulsma: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Libro VI, Anexo I. Solicitado por el cliente.

**RESPONSABLE DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Álvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



## ANEXO D Pruebas de velocidad de descenso del sedimentador

La determinación del caudal de purga del sedimentador se cuantificó mediante la determinación de la velocidad de descenso, la cual resulta de dividir la altura de vaciado del sedimentador entre el tiempo empleado para la misma. Así tenemos:

- Prueba N°1

Medida de la regleta (m)	Tiempo (s)	Velocidad de descenso (m/s)
0,05	10	0,0050
0,1	21	0,0048
0,2	41	0,0049
0,3	60	0,0050
0,35	69	0,0051
0,4	85	0,0047
<b>Velocidad promedio</b>		0,0049

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

- Prueba N°2

Medida de la regleta (m)	Tiempo (s)	Velocidad de descenso (m/s)
0,1	21	0,0048
0,15	32	0,0047
0,2	43	0,0047
0,25	54	0,0046
0,3	68	0,0044
0,4	87	0,0046
<b>Velocidad promedio</b>		0,0047

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

- Prueba N°3

Medida de la regleta (m)	Tiempo (s)	Velocidad de descenso (m/s)
0,08	17	0,0047

0,1	20	0,0050
0,4	85	0,0047
<b>Velocidad promedio</b>		0,0048

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

- Prueba N°4

<b>Medida de la regleta (m)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad de descenso (m/s)</b>
0,1	21	0,0048
0,2	39	0,0051
0,3	61	0,0049
0,4	85	0,0047
<b>Velocidad promedio</b>		0,0049

Realizado por: Diana C. Macera V. 2017

# ANEXO E Análisis físico-químico y microbiológico del clarificado de la prueba de sedimentación



EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA  
POTABLE Y ALCANTARILLADO - SUCÚA

**EPMAPA-S**

SUCÚA-MOBIONA SANTIAGO



## INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

DATOS DEL CLIENTE	DATOS GENERALES
<b>CLIENTE:</b> Diana Macera Veintimilla <b>DIRECCIÓN:</b> Macas <b>PERSONA DE CONTACTO:</b> Diana Macera Veintimilla <b>TELÉFONO DE CONTACTO:</b> 0980381517 <b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:</b> Planta de Potabilización de Sucúa <b>LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:</b> Agua tratada <b>RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:</b> Diana Macera Veintimilla <b>FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:</b> 3-abril-2017 ; 07:50	<b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b> LCC-002 <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Cruda <b>RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:</b> Diana Macera Veintimilla <b>FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:</b> 3-Abril-2017 ; 08:05 <b>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:</b> 03-abr-17 <b>FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:</b> 06-abr-17 <b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b> Humedad (%): Temperatura (°C): 24.2°C

## ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Acuerdo Ministerial 097A (Tabla 9)	RESULTADOS
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>				
Color Real	Pt-Co	Estándar Pt-Co	Inapreciable en dilución 1/20	1
pH	mg/L	Fotométrico	6-9	7,15
<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>				
Aluminio, Al+++	mg/L	Aluminon	5	0,115
Arsénico, As+++ (Total)	mg/L	Arsina	0,1	0
Cianuros, CN	mg/L	Pyridine-Pyrazalone	0,1	0,001
Fluoruros	mg/L	Spadns Method	5	0,18
Hierro, Fe+++	mg/L	Ferover	10	0,05
Sulfato, SO4	mg/L	Sulfaver 4	1000	7
<b>ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS</b>				
Sólidos Totales	mg/L	Digestión con Reactor	1600	32
Sólidos Suspendidos	mg/L	Fotométrico	130	28





EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA  
POTABLE Y ALCANTARILLADO - SUCÚA

**EPMAPA-S**

SUCÚA MORONA SANTIAGO



**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

<b>Coliformes Fecales</b>	<b>NMP/100 ml</b>	<b>Tubos múltiples Indole</b>	<b>&lt; 1,1</b>	<b>&gt;23</b>
---------------------------	-------------------	-------------------------------	-----------------	---------------

NOTA: LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS, QUE EN SU MAYORÍA SE REALIZAN EN EL COLORIMETRO HACH DR/890, SON COMPARADOS CON LA TABLA 9 del ANEXO VI ACUERDO MINISTERIAL 097A.

\* La muestra fue receptada en el laboratorio de la EPMAPA-S aprox. a las 08:05 del 3 de abril de 2017.

\* La procedencia de la muestra se indica según la información proporcionada por el solicitante del análisis, quién es el responsable del muestreo y su legitimidad, para los fines que considere pertinente.

\* La EPMAPA-S no se responsabiliza de la utilización de estos resultados en caso de que la información proporcionada sea falsa.

**PROFESIONAL RESPONSABLE:**

Ing. Quím. Rommel Trujillo  
Gerente General EPMAPA-SUCÚA



## ANEXO F Fotografías



Mezcla rápida (ingreso de agua cruda a la PTAP-Sucúa)



Unidad de coagulación-floculación





Unidad de Sedimentación



Caracterización de lodos (determinación de sólidos)



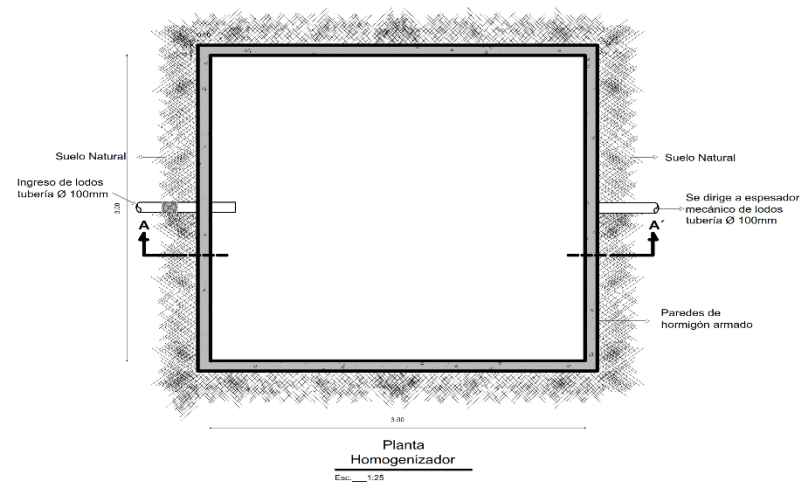
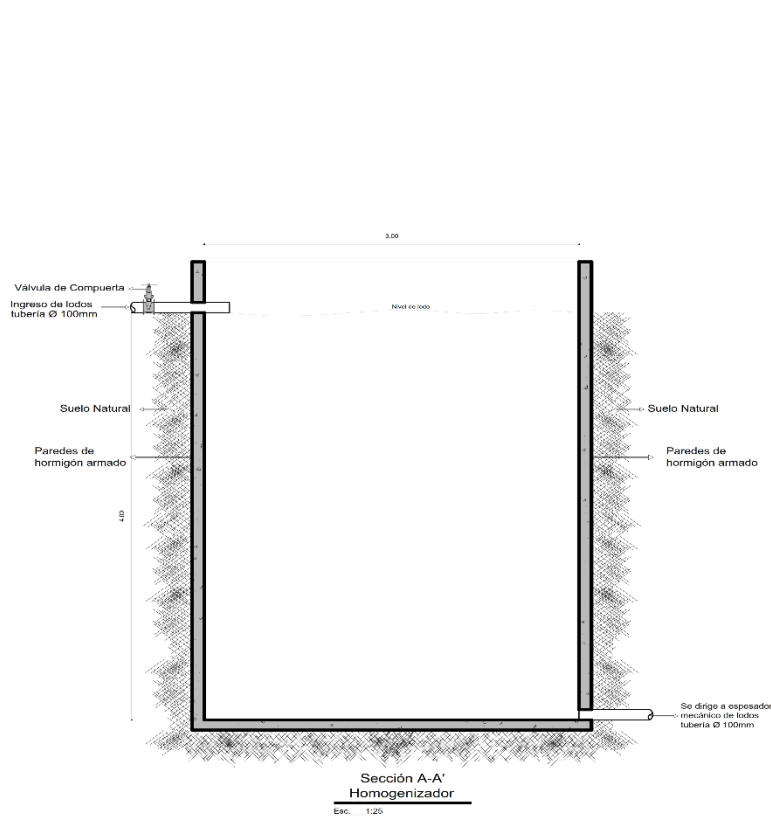


Pruebas de tratabilidad (sedimentación)

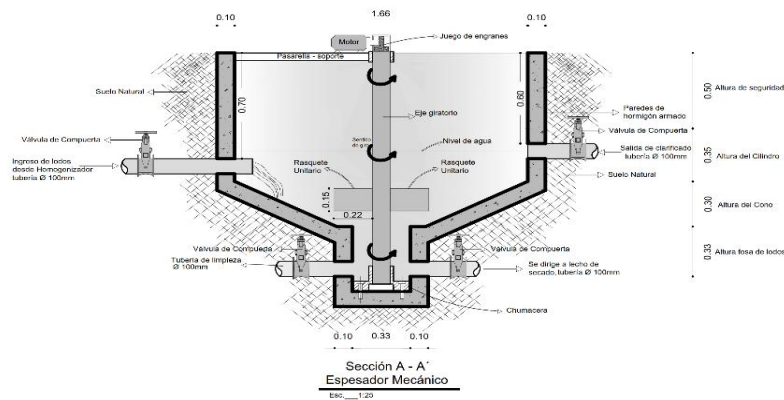
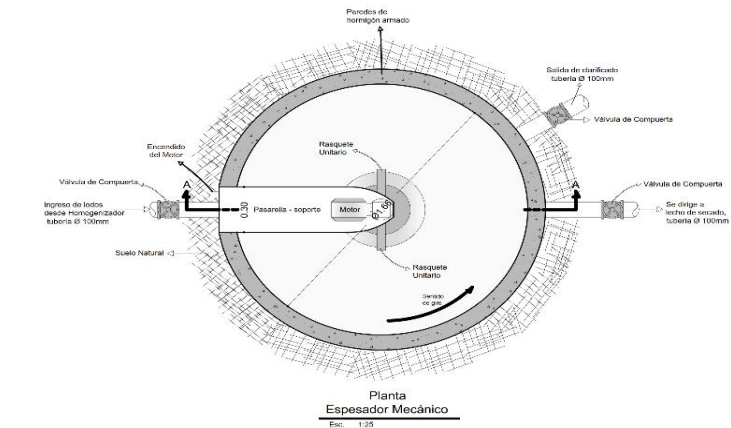


Pruebas de tratabilidad (humedad y sólidos)

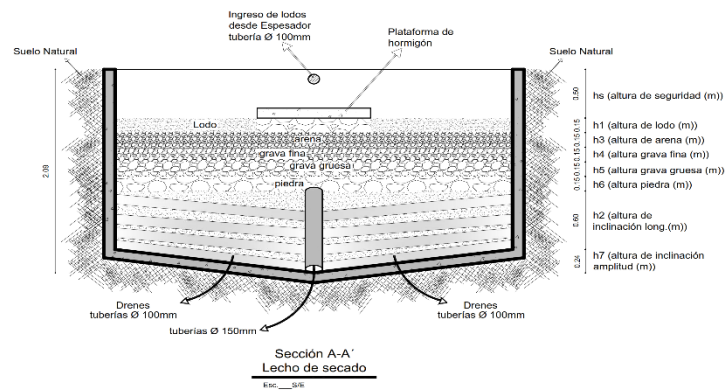
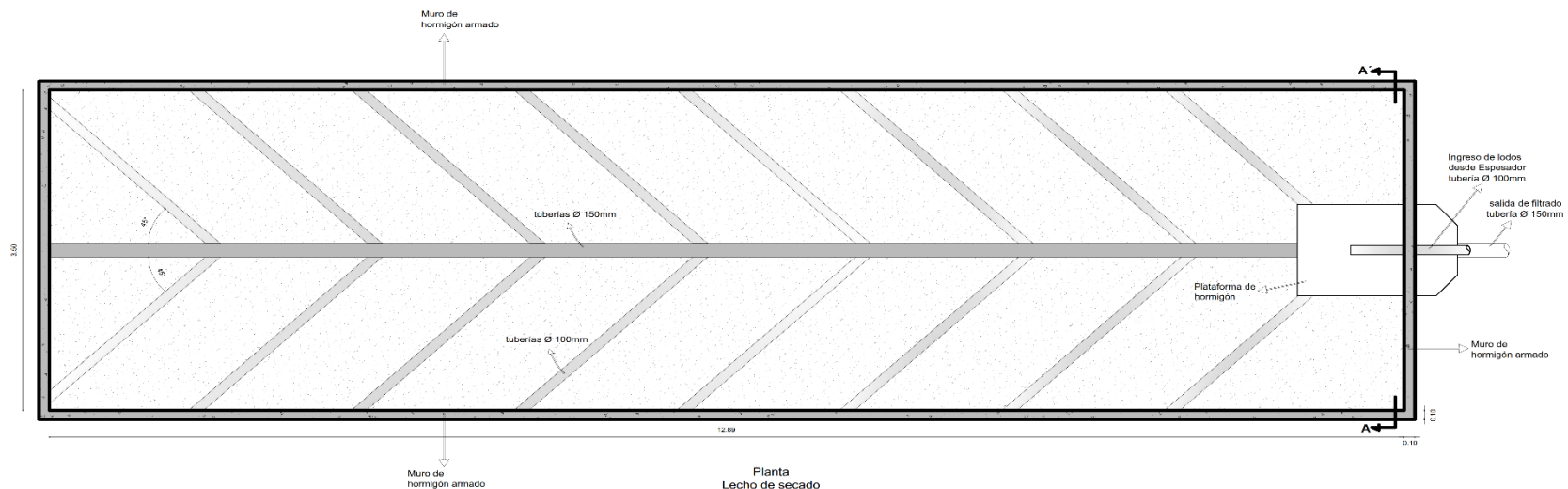
ANEXO G Planos de sistema de tratamiento propuesto



	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO EXT. MORONA SANTIAGO	
"DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA EP/MAPIA-SUCÚA, UBICADA EN EL SECTOR EL TOFO"	
CONTIENE:  PLANTA Y SECCIÓN HOMOGENIZADOR	ESCALA: INDICADAS
REALIZADO POR:  MACERA VEINTIMILLA DIANA CRISTINA	LAMINA: 1 DE 3
FECHA: 19-10-2017	



 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> EXT. MORONA SANTIAGO	
*DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA EPMAPA-SUCÚA, UBICADA EN EL SECTOR EL TOPO*	
CONTIENE:  PLANTA Y SECCIÓN ESPESADOR DE LODOS POR GRAVEDAD	ESCALA: INDICADAS
REALIZADO POR:  MACERA VEINTIMILLA DIANA CRISTINA	LÁMINA: 2 DE 3
FECHA: 19-10-2017	



 <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO EXT. MORONA SANTIAGO</p>	
<p>"DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA EPMAPA-SUCÚA, UBICADA EN EL SECTOR EL TOPO"</p>	
<p>CONTIENE:</p> <p>PLANTA Y SECCIÓN LECHO DE SECADO</p>	<p>ESCALA:</p> <p>INDICADAS</p>
<p>REALIZADO POR:</p> <p>MACERA VEINTIMILLA DIANA CRISTINA</p>	<p>FECHA:</p> <p>19-10-2017</p>
<p>LAMINA:</p> <p>3 DE 3</p>	